

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA DRŽÁKU KLAKSONU

THE MANUFACTURING OF HORN HOLDER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. BOHUMÍR KOS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Bohumír Kos

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba držáku klaksonu

v anglickém jazyce:

The manufacturing of horn holder

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby držáku klaksonu u motocyklu. Součástka je prostorového nepravidelného tvaru s otvorem a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na stříhání a ohýbání spolu se zhodnocením výroby součástí obdobných tvarů. Následovat bude návrh vhodné technologie a vypracování postupu výroby součásti (provedení technologických a kontrolních výpočtů), návrh sestavy nástroje spolu s výrobními výkresy zadaných dílů, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. NOVOTNÝ, J. – LANGER, Z.: Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů; Redakce báňské a strojírenské literatury; 1. vyd. L 13-B3-IV- 41/22674; SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p.; 1980; 216 str..
2. FOREJT, M. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0294-6.
3. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K.: Technologie tváření – plošné a objemové tváření, 1.ed., edit.Rektorát VUT v Brně, 2003, pp.169, ISBN 80-214-2340-4
4. ROMANOVSKIJ, V.P. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha, SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
5. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0401-9.
6. VYSKOČIL, O. – BARTOŠ, P.: Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání; Zbrojovka Brno n. p.; 1. vyd.; Brno; 1977; 88 str..
7. MARCINIAK, Z. Teorie tváření plechů. 1. vyd. Praha, SNTL, 1964. 462 s. DT 621.777.001.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 16.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

KOS Bohumír: Výroba držáku klaksonu

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru 2303T002 předkládá návrh technologie výroby dílce z hlubokotažného ocelového plechu 11 320.30. Na základě literární studie problematiky stříhání, ohýbání a výpočtu byla navržena výroba ve sdruženém postupovém nástroji, který je upnut na výstředníkovém lisu LEXN 100 C (výrobce TOMA INDUSTRIES s.r.o. Trnava), se jmenovitou silou 1000 kN. Pracovní části nástroje jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 436.3.

Klíčová slova: Ocel 11 320, plošné tváření, stříhání, ohýbání, lisovací nástroj

ABSTRACT

KOS Bohumír: The manufacturing of horn holder

The project elaborated in frame of engineering studies branch 2303T002. The project is submitting design of technology production of the part from the deep drawing sheet iron 11 320.30. Pursuant to of the literary pursuit a problem of the shearing, bending and calculation was designed manufacturing in transfer combined die, which is set on the eccentric press LEXN 100 C (producer TOMA INDUSTRIES s.r.o. Trnava), with nominal force 1000 kN. Functional parts of tool are produced of tool steel 19 436.3.

Keywords: 11 320 steel, sheet metal forming, shearing, bending, metal press tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOS, B. *Výroba držáku klaksonu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 59 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci na téma „Výroba držáku klaksonu“ jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. a panu Jaroslavu Vlkovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
1 ÚVOD.....	11
2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	12
2.1 Varianty výroby součástí.....	13
3 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	14
3.1 Napjatost a deformace	15
3.2 Střížná plocha.....	16
3.3 Střížná vůle	17
3.4 Střížná síla a práce.....	18
3.4.1 Těžiště střížných sil.....	20
3.5 Střížné nástroje	22
3.5.1 Základní druhy stříhadel.....	23
3.5.2 Konstrukce střížníků a střížnic.....	24
3.5.3 Stanovení rozměrů střížníků a střížnic.....	25
3.5.4 Materiály pro výrobu stříhadel.....	26
3.6 Technologičnost součástí	27
4 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ	31
4.1 Napjatost a deformace	32
4.2 Odpružení	33
4.3 Rozvinutá délka polotovaru	34
4.4 Minimální a maximální poloměr ohybu	35
4.5 Vůle mezi pracovními částmi ohýbadla	36
4.6 Ohýbací síla a práce.....	37
4.7 Nástroje pro ohýbání	38
4.7.1 Pracovní části ohýbadel.....	39
4.7.2 Materiály pro výrobu ohýbadel	40
4.8 Technologičnost součástí	40

5	STROJE	42
6	NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI	43
	6.1 Poloha výstřižků v nástřihovém plánu.....	44
	6.2 Volba výrobního postupu.....	46
	6.3 Rozměry nástřihového plánu.....	47
	6.4 Volba polotovaru.....	47
	6.5 Výpočty střižné části nástroje.....	49
	6.6 Výpočty ohýbací části nástroje.....	50
	6.7 Umístění stopky.....	52
	6.8 Volba stroje.....	54
	6.9 Popis nástroje.....	55
7	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	56
8	ZÁVĚR	59

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam výkresů

Seznam příloh

1 ÚVOD

Technologie vždy byly a v budoucnu také budou základní a neoddělitelnou částí strojírenského průmyslu. Neustálý vývoj technologií je nezbytný k dosažení pokroku a prosperity v této oblasti. Obecně lze technologie zpracování kovů a jiných technických materiálů rozdělit do několika oborů. Těmi jsou tváření, obrábění, svařování, slévárenství, aj. Mezi nejvýznamnější obory z hlediska množství a přesnosti výroby strojních součástí patří v současné době obrábění a tváření. Při klasickém obrábění dochází ke vzniku odpadu ve formě třísek, zatímco technologie tváření je tzv. beztržisková. U některých technologií tváření dokonce nedochází ke vzniku žádného odpadu, což má v dnešní době nezanedbatelný význam. Díky této skutečnosti je technologií tváření možno racionálně využívat materiál, a proto právě tato technologie bude v budoucnu mít ve strojírenství obrovský význam.

Technologie tváření využívá plastické deformace zpracovávaného materiálu a lze ji rozdělit na tváření objemové a plošné. Při objemovém tváření dochází ke změně průřezu polotovaru z tvaru např. plných špalíků apod. na tvar jiný (technologie kování, protlačování atd.). Plošným tvářením se rozumí technologie zpracování plechu, při které je plech tvarován do požadovaného tvaru (plošného i prostorového), aniž by docházelo k výrazné změně jeho tloušťky (technologie stříhání, ohýbání, tažení apod.).

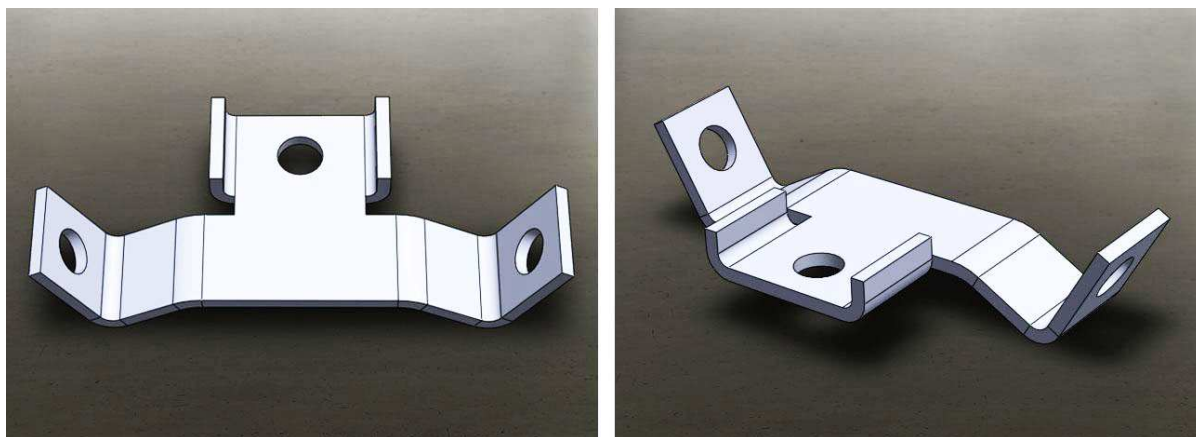
Práce je zaměřena právě na technologii plošného tváření. Pro představu jsou na obr.1 uvedeny součásti vyrobené touto technologií.



Obr.1 Výlisky z plechu [14][20][35][27]

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [33][17]

Součástí, jejíž technologie výroby je navrhována v této práci, je univerzální držák klaksonu pro více typů motocyklů, viz obr.2, který bude vyráběn v sérii 150 000 ks za rok. Jedná se o součást z ocelového plechu tloušťky 2,5 mm. Délka hotové součásti je přibližně 95 mm a šířka 40 mm. Průměry otvorů jsou 8,5 mm. Na součást nejsou kladeny žádné zvýšené nároky na geometrickou přesnost ani na jakost povrchu. Po vyrobení bude součást lakována.



Obr. 2 Vyráběná součást - držák klaksonu

Polotovar pro výrobu součásti je ocelový plech dle normy ČSN 41 1320. Tedy plech z oceli 11 320.30, tj. z konstrukční uhlíkové (nelegované) oceli se zaručenou čistotou, která je vhodná k plošnému tváření za studena, k mírnému nebo hlubokému tažení (např. pro součásti karoserií, jízdních kol, motocyklů apod.), a která má zaručenou svařitelnost. Polotovar je ve stavu žíhaném na měkko, dále nepřeválcovaný. Základní vlastnosti materiálu polotovaru jsou uvedeny v tab. 2.1. Po vyrobení není součást dále tepelně zpracována.

Tab. 2.1 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 11 320.30 [25][4]

Materiál	Ocel 11 320.30	
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	270 - 370
	Mez kluzu R_e [MPa] max.	260
	Tažnost A_{80} [%] min.	28
	Tvrdost HV max.	105
Chemické složení (hmotnostní podíl)	Uhlík - C [%] max.	0,11
	Fosfor - P [%] max.	0,045
	Síra - S [%] max.	0,045
	Mangan - Mn [%] max.	0,6

2.1 Varianty výroby součástí

Vzhledem k charakteru součástí obdobných tvarů jako je uvažovaný držák klaksonu, které jsou vyráběny z plechu a jsou prostorových nepravidelných tvarů s otvory, je v dnešní době možno použít různých technologií pro realizaci jejich výroby. Z klasických technologií jsou to technologie plošného tváření, jako je stříhání a ohýbání. Dále je také možno užít nekonvenčních technologií, jako je např. řezání laserem, vystřihování na vysekávacích lisech apod. Pro výrobu zadané součásti připadá tedy v úvahu hned několik variant:

- 1. varianta - výroba rozvinutého tvaru součásti s otvory pomocí nekonvenčních technologií (řezání pomocí laseru, vystřihování na vysekávacích lisech apod.) a následné ohýbání v ohýbadle. Z hlediska velkého počtu vyráběných kusů je však tato varianta neefektivní, protože užití nekonvenčních metod je vhodné spíše pro menší série vyráběných součástí. Nevýhodou této varianty je navíc nutnost manipulace s polotovarem před ohýbáním v ohýbadle.
- 2. varianta - výroba ve dvou odlišných lisovacích nástrojích, kde stříhání je prováděno ve stříhadle a výstřižky jsou pak dále ohýbány v jiném nástroji - ohýbadle. Touto variantou je již možno efektivně vyrábět součásti ve velkých sériích, je však stále nutná manipulace s polotovarem mezi stříháním a ohýbáním polotovaru součásti, podobně jako u 1. varianty.
- 3. varianta - výroba ve sdruženém postupovém nástroji, kde je prováděn současně stříh i ohyb polotovaru. Tato varianta je vhodná zejména pro výrobu ve velkých sériích. Oproti předchozím variantám je součást vyrobena na jediném stroji pomocí jediného nástroje a odpadá tedy nutnost manipulace s polotovarem mezi jednotlivými operacemi výroby součásti. Oproti předchozím dvěma variantám je sdružený postupový nástroj výrobně nejnákladnější. Tato nevýhoda je však při velkých výrobních sériích kompenzována jeho vysokou produktivitou.

Jako nejvhodnější varianta výroby vzhledem k vysokému počtu kusů vyráběných součástí a také jako nejefektivnější řešení se jeví 3. varianta, tedy výroba ve sdruženém postupovém nástroji, ve kterém je současně prováděn jak stříh, tak ohyb polotovaru součásti. Na problematiku stříhání a ohýbání a také sdružené postupové nástroje je proto dále zaměřena literární studie.

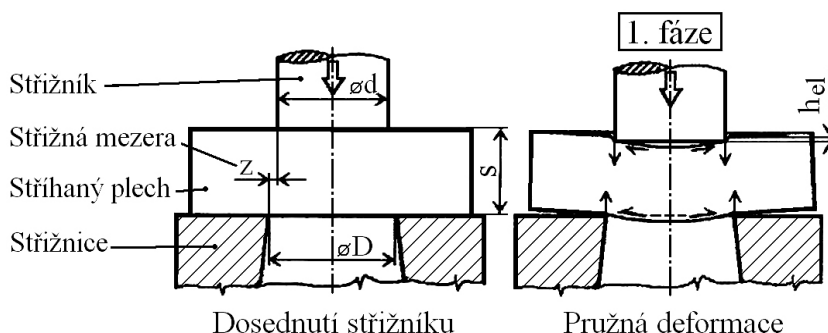
3 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [21][11][7][18][22][29][31]

Stříhání patří k nejrozšířenějším způsobům tváření kovů ve strojírenské výrobě. Je to operace plošného tváření, která je jako jediná z tvářeních operací ukončena porušením (lomem) stříhaného materiálu v ohnisku deformace. Jedná se o velmi progresivní způsob zpracování kovových materiálů, při kterém působením vnějších sil dochází k postupnému nebo současnému oddělování částí stříhaného materiálu v celém jeho průřezu protilehlými břity nožů nůžek, nebo střížnými hranami nástrojů podél křivky stříhu. Stříhání lze využít pro přípravu polotovarů, výrobu hotových součástí nebo jako pomocnou, případně dokončovací operaci.

Během procesu stříhání dochází k zatlačování břitů nožů nebo hran střížníku a střížnice dvojicí sil do stříhaného materiálu takovým způsobem, že dojde ve stříhaném materiálu k překročení meze pevnosti ve stříhu a nastává jeho oddělení v tzv. střížné rovině, která je rovnoběžná se směrem pohybu aktivní části nástroje.

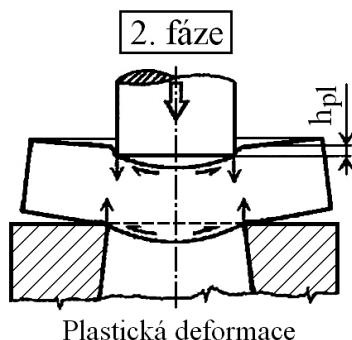
Proces stříhání lze rozdělit na tři základní fáze. Pro popis těchto fází je dále uvedeno stříhání ve stříhadle, určeném pro vystřihování kruhových otvorů, viz kap. 3.3. Po dosednutí střížníku na stříhaný materiál dojde k první fázi stříhu a tou je vznik pružné deformace stříhaného materiálu. Ve druhé fázi dochází již k trvalé plastické deformaci materiálu a celý proces stříhání je završen třetí fází, kdy je stříhaný materiál namáhán již nad mezí pevnosti ve stříhu a tím dochází k jeho oddělení.

První fáze stříhu (obr. 3.1), jak již bylo uvedeno, nastává po dosednutí střížníku na stříhaný materiál a dochází při ní k pružnému vnikání hran střížníku do stříhaného materiálu. Napětí ve stříhaném materiálu ve směru vnikání střížníku je při této fázi nižší, než mez kluzu tohoto materiálu, a proto je jeho deformace pouze pružná. Podle mechanických vlastností stříhaného materiálu se hloubka vniku střížníku pohybuje v rozmezí (5 až 10) % tloušťky stříhaného materiálu.



Obr. 3.1 První fáze stříhu [11]

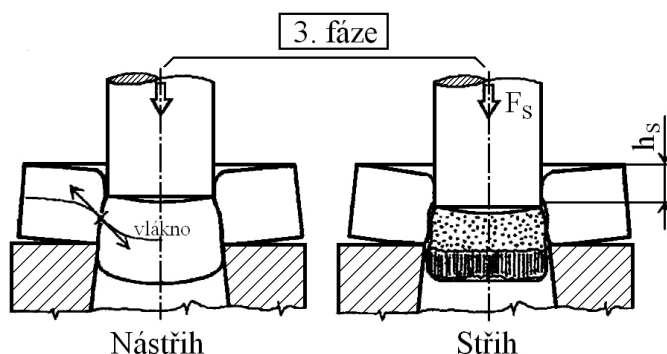
Druhá fáze stříhu (obr. 3.2) je již doprovázena trvalou plastickou deformací stříhaného materiálu z důvodu, že napětí ve směru vnikání střížníku do materiálu je v této fázi vyšší, než je mez kluzu tohoto materiálu. Hloubka vniknutí střížníku se ve druhé fázi stříhu opět v závislosti na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu pohybuje v rozmezí (10 až 25) % tloušťky stříhaného materiálu.



Obr. 3.2 Druhá fáze stříhu [11]

Třetí fáze stříhu (obr. 3.3) nastává, když napětí ve směru vnikání střížníku do materiálu dosáhne hodnoty meze pevnosti materiálu ve stříhu. Dojde tedy k porušování materiálu. Ze začátku 3. fáze stříhu vznikne tzv. nástřih, což je vytvoření trhlinek ve stříhaném materiálu ve směru největšího smykového napětí. Vytvoření trhlinek je usnadněno tahovým normálovým napětím, které působí ve

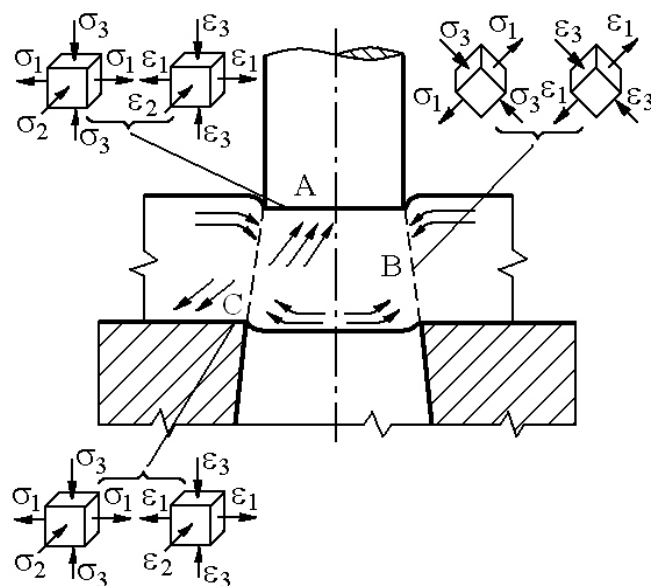
směru vláken stříhaného materiálu. Největší tahové napětí v materiálu je v oblasti blízko hran střížníku a střížnice, což má za následek, že první trhlinky vznikají právě v těchto místech a dále se pak během třetí fáze stříhu rozšiřují. V ideálním případě se při optimální velikosti střížné mezery, viz kap. 3.1, trhliny na konci stříhu setkají a dojde k oddělení materiálu. Nejrychleji se oddělují tvrdé a křehké materiály, protože u nich dochází k rychlému šíření trhlin a oddělení materiálu tudíž nastává již při malé hloubce vniku střížných hran, což je okolo 10 % tloušťky stříhaného materiálu. Naopak měkké a houževnaté materiály se v důsledku pomalého šíření trhlin oddělují až přibližně při hloubce vniknutí střížných hran do 60 % tloušťky stříhaného materiálu.



Obr. 3.3 Třetí fáze stříhu [11]

3.1 Napjatost a deformace [11][1]

Během procesu stříhání vzniká v oblasti „A“ pod plochou střížníku, viz obr. 3.4, nestejnorodá prostorová napjatost, která má jedno napětí tahové (σ_1) a dvě napětí tlaková (σ_2 a σ_3). Deformace, která odpovídá této napjatosti, je také nestejnorodá a prostorová. V těsné blízkosti střížné hrany je největší hlavní tahové napětí „ σ_1 “, které je rovno mezi pevnosti materiálu ve stříhu $\sigma_1 = \tau_s (\cong 0,8 \cdot R_m)$. Hlavní tlakové napětí „ σ_3 “ je zde přibližně rovno polovině „ σ_1 “. Při volném stříhání plechů o větších tloušťkách lze v oblasti „A“ uvažovat rovinný stav napjatosti, kde napětí „ σ_2 “ je přibližně nulové. Deformace je v tomto místě však stále prostorová, protože složka deviátoru napjatosti i střední napětí je zde nenulové. Stejná napjatost a deformace jako v oblasti „A“ vzniká při procesu stříhání i v oblasti „C“ nad střížnicí.



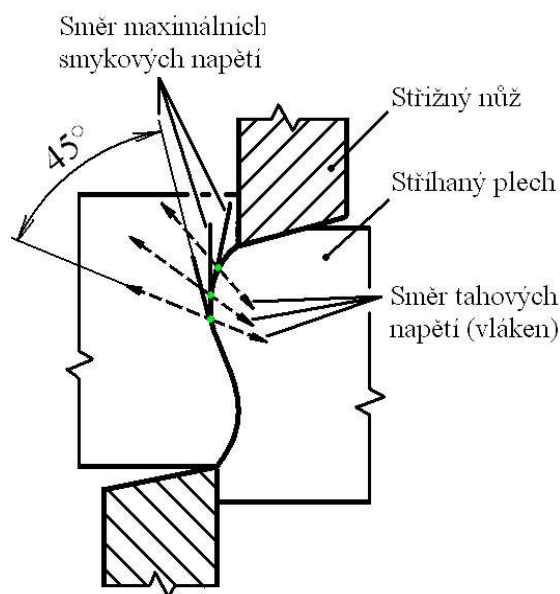
Obr. 3.4 Schémata napjatosti a deformace při klasickém uzavřeném stříhání [1]

Ve směru do středu střížné plochy dochází ke změně poměru hlavních napětí „ σ_1 “ a „ σ_3 “ a v oblasti „B“ uprostřed této plochy platí, že $\sigma_1 = |\sigma_3|$ a je zde splněna podmínka čistého smyku, kdy $\sigma_2 = 0$. V této oblasti tedy vzniká nestejnorodá rovinná napjatost i deformace.

Ze schémat napjatosti na obr. 3.4 vyplývá, že ve směru stříhu (směr čárkované čáry) jsou působící napětí tlaková a ve směru kolmém jsou napětí tahová. Během procesu stříhání dochází mezi střížnými hranami k natahování stříhaného materiálu a jeho současnému vytlačování do stran, čímž materiál uvolňuje místo pro vnikající části střížníku a střížnice.

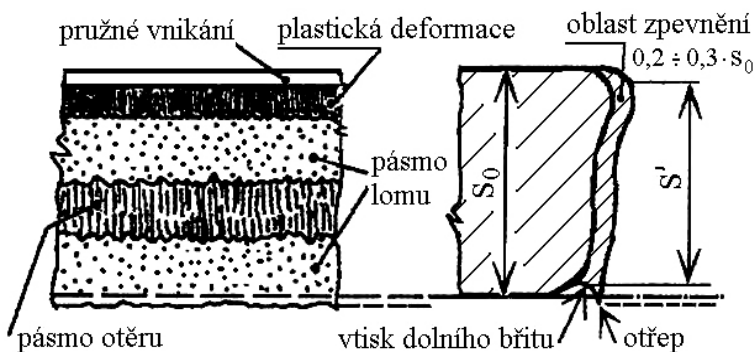
3.2 Střížná plocha [21][11][31][18]

V důsledku vzájemného posuvu (přibližování) střížných hran dochází u klasického stříhání k postupnému ohýbání a protahování vláken stříhaného materiálu. Úměrně se vzdáleností od střížných hran se prodloužení a prohnutí vláken zmenšuje. S prodloužením a tím způsobeným tahovým napětím, které je největší právě u střížných hran souvisí i místo vzniku prvních trhlinek během nástřihu a se změnou prohnutí vláken stříhaného materiálu souvisí také směr dalšího šíření těchto trhlinek, které se šíří ve směru největšího smykového napětí pod úhlem přibližně 45° od směru vláken stříhaného materiálu - směru tahového napětí, viz obr. 3.5. Směr šíření trhlinek se tedy postupně mění a výsledný tvar střížné plochy, podél které se materiál oddělí, je proto (při optimálních podmínkách střížného procesu) zakřivený do tvaru, který v kolmém řezu k této střížné ploše připomíná písmeno „S“.



Obr. 3.5 Zakřivení střížné plochy vzniklé během 3. fáze stříhu [21]

Celkový tvar a vzhled střížné plochy není však vytvářen pouze šířením trhlinek během 3. fáze stříhu, kdy se vytváří zmiňovaná plocha ve tvaru písmene „S“, ale je ovlivněn dalšími faktory působícími během celého procesu stříhání. Na střížné ploše je proto možno zaznamenat další deformace tvaru, kterými je např. zaoblení vstupní hrany plechu (elastická deformace během procesu stříhání), vtisk dolního břítu a otřep (obr. 3.6).



Obr. 3.6 Tvar a vzhled střížné plochy při optimálních podmínkách střížného procesu [11]

není dosahováno výrazné kvality střížné plochy a drsnost jejího povrchu se při stříhání na stříhadlech, viz kap.3.5, zpravidla pohybuje v rozmezí $Ra = (2,5 \text{ až } 6,3)$. Kvalita a přesnost střížné plochy závisí na několika faktorech, kterými jsou zejména vlastnosti stříhaného materiálu (se zvyšující se tvrdostí stříhaného materiálu kvalita střížné plochy klesá), velikost střížné mezery, druh a také technický stav nástroje, charakter geometrie tvaru výstřížku a nakonec kvalita povrchu a přesnost aktivních částí nástroje.

V oblasti střížné plochy dochází vlivem plastické deformace ke zpevnění stříhaného materiálu. Největší zpevnění je v oblasti těsně u střížné plochy a šířka zpevněné oblasti je rovna přibližně (20 až 30 %) tloušťky stříhaného plechu. Zpevnění v oblasti střížné plochy

Nejen tvar, ale i vzhled povrchu střížné plochy se ve směru tloušťky plechu postupně mění. Podle způsobu vzniku povrchu této plochy (plastická deformace, lom apod.) na ní lze rozlišit hned několik pásem, kterými jsou např. pásmo vzniklé plastickou deformací plechu, pásmo lomu a pásmo otěru (obr. 3.6).

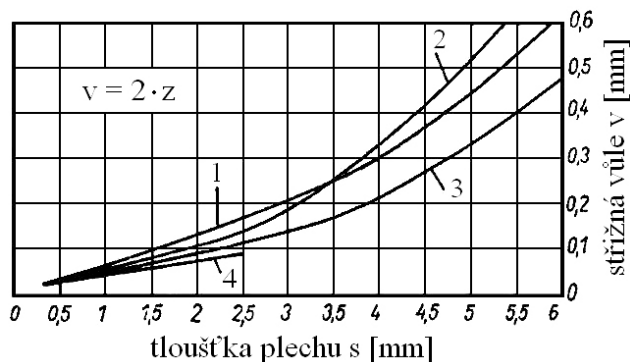
Jak již z výše uvedeného vyplývá, při klasickém stříhání

může působit problémy např. při následném ohýbání plechu, kdy plech v této oblasti již nemá dostatečnou zásobu plasticity a v místě ohybu pak mohou na střížné ploše vznikat trhliny apod. V případech, kdy je zpevnění střížné plochy nepřijatelné např. z uvedeného důvodu vzniku trhlin při ohybu, je možno jej odstranit např. žíháním, nebo obrobením zpevněné vrstvy.

Při vyšších nárocích na rozměrovou přesnost výstřížků a jakost povrchu střížné plochy je možno užít některou z technologií přesného stříhání, kterými jsou např. stříhání s nátlakovou hranou, stříhání s přidržovačem, stříhání bez vůle, stříhání se zápornou vůlí, reversní stříhání apod.

3.3 Střížná vůle [11][22][6][26][1][2][3]

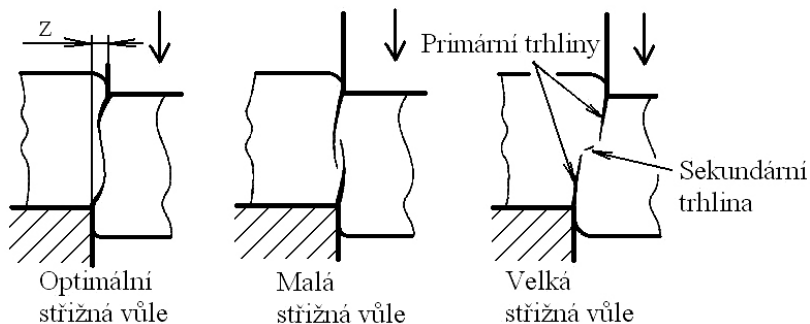
Zásadní vliv na kvalitu střížné plochy, trvanlivost střížného nástroje a také optimální průběh celého střížného procesu má velikost střížné mezery „ z “, což je vzdálenost břitů střížných nožů ve směru kolmém k jejich relativnímu pohybu (viz obr. 3.8). U stříhadel je také často užíván termín střížná vůle „ v “, což je rozdíl rozměrů pracovních částí střížníku a střížnice. Střížná vůle je rovna dvojnásobku hodnoty střížné mezery $v = 2z$. Vliv velikosti střížné mezery (vůle) je nezanedbatelný a pro stříhání konkrétního materiálu o určité tloušťce je vždy nutná správná volba její velikosti, kterou je nutno dodržet stejnou po celém obvodu střížníku a pohybuje se v rozmezí (2 až 10 %) tloušťky stříhaného materiálu. Pro představu je na obr. 3.7 uveden graf závislosti optimální střížné vůle na materiálu a tloušťce stříhaného plechu.



1 - ocel, hlubokotažný plech, 2 - obyč. ocel, plech, 3 - měkká mosaz, 4 - hliník

Obr. 3.7 Závislost střížné vůle na materiálu a tloušťce plechu [6]

Pokud je stříh prováděn s optimální velikostí střížné vůle, trhliny, které vznikly při nástřihu, se šíří směrem k sobě, až dojde k jejich setkání a oddělení materiálu v ploše tvaru „S“ při minimální možné střížné síle a práci, viz kap. 3.4. Při příliš malé nebo naopak velké střížné vůli se trhliny nesetkají, což má negativní vliv na kvalitu střížné plochy, na které dojde k rozšíření pásma otěru na větší oblast střížné plochy a tím dojde také k nárůstu střížné



Obr. 3.8 Vliv střížné vůle při vytváření střížné plochy [26]

síly a střížné práce. Způsob šíření trhlin v závislosti na velikosti střížné vůle je uveden na obr. 3.8. Při změně velikosti střížné vůle se střížná síla mění jen nepatrně. Mnohem více se však mění střížná práce, která může např. v důsledku zmenšení střížné vůle vzrůst až o 40 %.

Při nedodržení konstantní velikosti střížné vůle po celém obvodu mezi střížníkem a střížnicí dochází ke vzniku povrchových vad a ostřin na střížné ploše. Ke vzniku ostřiny, tj. vytažené ostré hrany na spodní části střížné plochy, dochází také vlivem otupení funkčních částí střížného nástroje. Pokud dojde k otupení hrany střížníku, vznikne ostřina na obvodu vystřižené součásti, zatímco při otupení hrany střížnice vzniká ostřina na obvodu vystřiženého otvoru. Pokud dojde k otupení střížných hran střížníku i střížnice, vznikají ostřiny na střížných plochách u obou oddělených částí plechu.

Velikost střížné vůle závisí na mnoha faktorech, zejména však na materiálu (jeho mechanických vlastnostech) a tloušťce stříhaného plechu. Optimální velikost střížné vůle „v“ je možno stanovit několika způsoby. A to pomocí tabulek, případně odečtením z grafů, viz obr. 3.7, nebo výpočtem např. pomocí vztahů (3.1) a (3.2).

Výpočet velikosti střížné vůle pro plechy do tloušťky 3 mm:

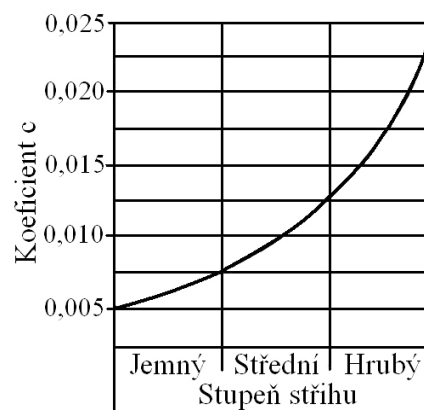
$$v = 2 \cdot c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (3.1)$$

$$z = \frac{v}{2}$$

Výpočet velikosti střížné vůle pro plechy tloušťky nad 3 mm:

$$v = 2 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (3.2)$$

$$z = \frac{v}{2}$$

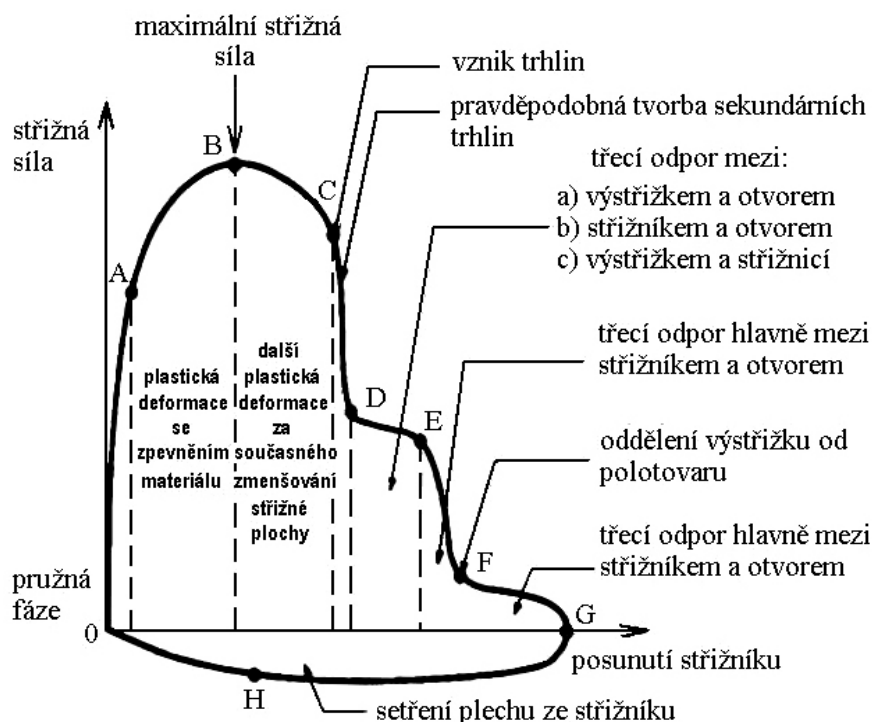


Obr. 3.9 Volba koeficientu c [3]

kde s ... tloušťka stříhaného plechu [mm]
 τ_s ... mez pevnosti ve stříhu (přibližně platí: $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$) [MPa]
 c ... koeficient závislý na stupni stříhu, viz obr. 3.9, $c = (0,005 \text{ až } 0,025)$.
 Jemný stupeň se volí pro nejvyšší střížnou plochu a hrubý stupeň pro nejmenší střížnou sílu

3.4 Střížná síla a práce [11][18][26][1][2][3]

Velikost střížné síly se v průběhu stříhu mění. Na obr. 3.10 je znázorněn průběh síly při vystřihování. Jak je z tohoto obrázku zřejmé, střížná síla poměrně rychle narůstá od nulové hodnoty až po svou maximální hodnotu a poté začne opět klesat. Při vzniku prvních trhlinek ve stříhaném materiálu se rychlost poklesu střížné síly výrazně zvýší. Pokles střížné síly je však dále v určitých fázích stříhu brzděn třecími odpory mezi stříhaným materiálem a pracovními částmi střížného nástroje. Při úplném oddělení stříhaného materiálu pak střížná síla klesne na nulovou hodnotu. Maximální hodnotu střížné síly je možno obecně vypočítat podle vztahu (3.3).

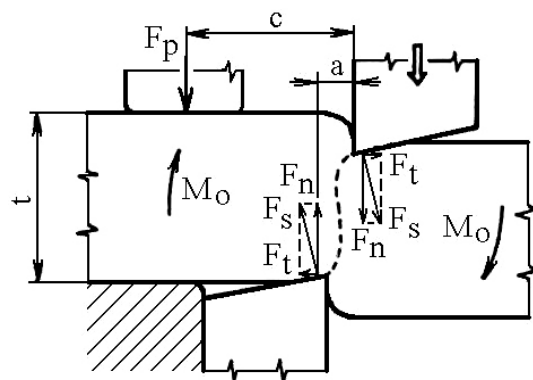


Obr. 3.10 Průběh střížné síly během vystřihování [26]

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot s \cdot \tau_s \quad (3.3)$$

- kde F_s ... střížná síla [N]
 n ... opravný koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek při stříhání (zahrnuje zejména vliv otupení střížných hran a dále např. vliv nerovnoměrnosti tloušťky stříhaného materiálu apod.)
 $n = 1$ až 1,3
 S ... plocha stříhu ($S = l \cdot s$) [mm²]
 l ... délka křivky stříhu (střížný obvod) [mm]
 τ_s ... Mez pevnosti ve stříhu (přibližně platí: $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$) [MPa]

Střížné síly při klasickém stříhání nepůsobí vlivem střížné mezery „z“ ideálně v jedné rovině. Střížná síla „ F_s “ se rozkládá na dvě složky. Sílu třecí „ F_t “ a normálovou „ F_n “ (obr. 3.11). Svislé složky střížné síly „ F_t “ pak v důsledku střížné mezery vytvářejí ohybový moment, který má za následek nežádoucí ohyb materiálu a např. u volného stříhání na nůžkách může dojít až k přetočení a vklínění stříhaného materiálu mezi střížné nože. Tomu lze zabránit užitím přidržovače a ohybový moment vyrovnat přidržovací silou „ F_p “, viz obr. 3.9. Sílu přidržovače lze určit z momentové rovnováhy: $F_n \cdot a = F_p \cdot c$, kde $a = (1,5 \text{ až } 2x)$ velikost střížné mezery „z“. Třecí složky střížné síly „ F_t “ způsobují při malé tuhosti střížných nožů jejich nežádoucí ohyb (možnost zlomení nože) a tím také jejich oddálení a zvětšení střížné mezery.



Obr. 3.11 Střížné síly a přidržovací síla [22]

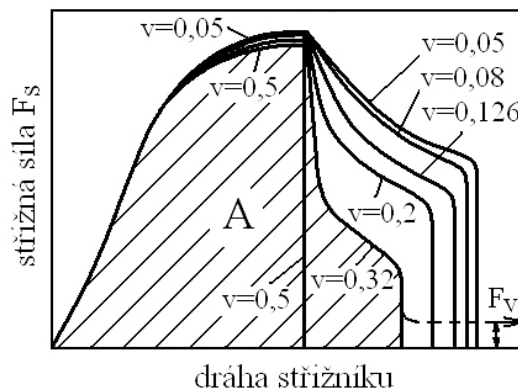
Pro vystřížení součásti je zapotřebí vynaložit určité množství energie - střížné práce, která je přímo úměrná velikosti střížné síly a hloubce vniku střížníku do stříhaného materiálu. Velikost střížné práce „A“ je určena plochou pod křivkou v diagramu závislosti střížné síly na dráze střížníku - hloubce jeho vniku do materiálu (viz obr. 3.12). Střížná práce tedy závisí na stříhaném materiálu a jeho tloušťce.

Na velikost střížné práce má také výrazný vliv velikost střížné vůle. Jak je zřejmé z obr. 3.12, při zmenšování střížné vůle dochází k poměrně značnému zvětšování plochy pod křivkou závislosti střížné síly na dráze střížníku, a proto dochází také k značnému nárůstu střížné práce. Maximální střížná síla, jak je vidět na obr. 3.12, se však při změně velikosti střížné vůle výrazně nemění.

Při stříhání pomocí rovných střížných hran je střížnou práci možno vypočítat podle vztahu (3.4).

$$A = \frac{k \cdot F_s \cdot s}{1000} \quad (3.4)$$

kde k ... koeficient závislý na materiálu a tloušťce stříhaného plechu (tab. 3.1)



Obr. 3.12 Průběhy střížné síly [1]

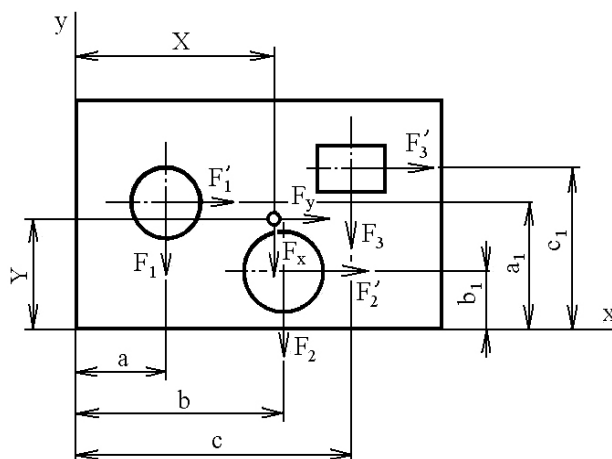
Tab. 3.1 Hodnoty koeficientu k [21]

Materiál	Tloušťka materiálu [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel s pevností 250 až 350 MPa	0,70 až 0,65	0,65 až 0,60	0,60 až 0,50	0,45 až 0,35
Ocel s pevností 350 až 500 MPa	0,60 až 0,55	0,55 až 0,50	0,50 až 0,42	0,40 až 0,30
Ocel s pevností 500 až 700 MPa	0,45 až 0,40	0,40 až 0,35	0,35 až 0,30	0,30 až 0,15
Al, Cu žíhané	0,75 až 0,70	0,70 až 0,65	0,65 až 0,55	0,50 až 0,40

3.4.1 Těžiště střížných sil [21][31]

Při stříhání na lisu několika střížníky současně, jako je tomu např. u postupového střížného nástroje, viz kap. 3.5, je nutno zajistit, aby výslednice střížných sil od jednotlivých střížníků působila v ose lisu. V případě nedodržení této podmínky by během stříhu docházelo ke vzniku klopného momentu, značně zatěžujícího beran lisu, který by měl za následek snížení přesnosti výstřížků a také snížení životnosti nástroje a zvýšení opotřebení beranu lisu. Výslednice střížných sil působí v tzv. těžišti střížných sil, jehož polohu lze stanovit např. početní nebo grafickou metodou.

Početní metoda stanovení těžiště střížných sil vychází z momentové rovnováhy (3.5), ve které součet momentů střížných sil od jednotlivých střížníků vzhledem ke zvolené přímce (např. ose „x“ nebo „y“) je roven nule. Ze vztahu (3.5) lze potom vyjádřit vztah pro určení polohy těžiště ve směru osy „x“ (3.6) a obdobně ve směru osy „y“ (3.7).



Obr. 3.13 Určení těžiště střížných sil výpočtem [21]

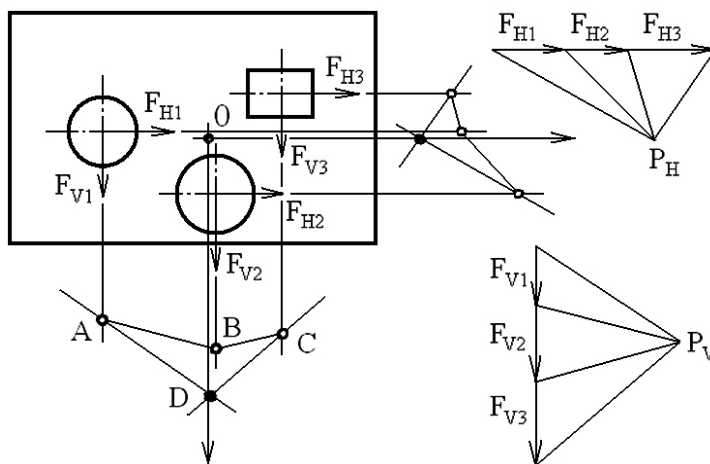
$$F_x X = F_1 a + F_2 b + F_3 c \quad (3.5)$$

$$X = \frac{F_1 a + F_2 b + F_3 c}{F_x} = \frac{F_1 a + F_2 b + F_3 c}{F_1 + F_2 + F_3} \quad (3.6)$$

$$Y = \frac{F_1' a_1 + F_2' b_1 + F_3' c_1}{F_y} = \frac{F_1' a_1 + F_2' b_1 + F_3' c_1}{F_1' + F_2' + F_3'} \quad (3.7)$$

kde	X	vzdálenost těžiště střížných sil od osy „y“ [mm]
	Y	vzdálenost těžiště střížných sil od osy „x“ [mm]
	F_x	celková střížná síla (součet sil od jednotlivých střížníků) ($F_x = F_y$) [N]
	F_1, F_2, F_3 ...	střížné síly od jednotlivých střížníků ($F_1 = F_1' \dots$) [N]
	a, b, c	vzdálenosti těžišť střížných sil jednotlivých střížníků od osy „y“ [mm]
	a_1, b_1, c_1	vzdálenosti těžišť střížných sil jednotlivých střížníků od osy „x“ [mm]

Grafické určení těžiště střížných sil se provádí tak, že do půdorysného zobrazení nástroje se v jednotlivých těžištích u všech střížníků vynesou ve vhodném měřítku velikosti střížných sil, které jsou úměrné obvodu děrovaného otvoru (obr. 3.14). Např. pro určení polohy těžiště střížných sil ve směru horizontálním se jednotlivé střížné síly vynesou ve směru vertikálním (F_{1V}, F_{2V} apod.). Dále se zvolí libovolný bod „ P_V “ (tzv. pól) a blízko tohoto bodu libovolná svislá přímka, na kterou se ve zvoleném měřítku vynesou postupně síly „ F_{1V} “, „ F_{2V} “ atd. Začátky a konce sil, nanesených na tuto přímku, se pak spojí s bodem „ P_V “, čímž se získá

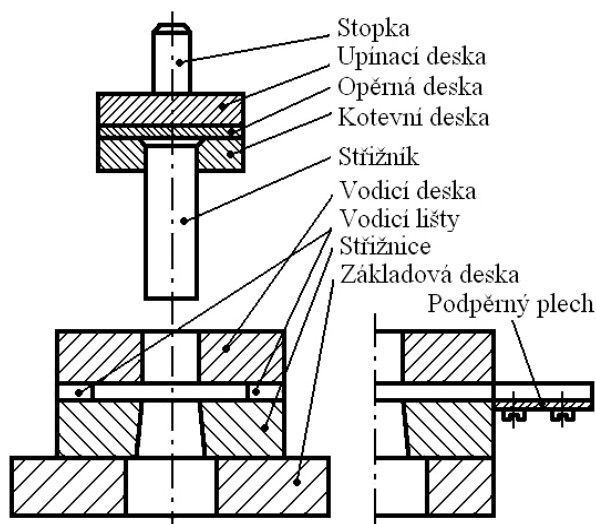


Obr. 3.14 Určení těžiště střížných sil graficky [21]

tzv. pólový obrazec. Směry působících střížných sil se prodlouží až pod půdorysné zobrazení střížného nástroje a na prodloužené přímce od síly „ F_{1V} “ se zvolí libovolný bod „A“. Tímto bodem se pak vynese rovnoběžka se spojnicí bodu „ P_V “ a koncovým bodem síly „ F_{1V} “ v pólovém obrazci. Tato rovnoběžka protne prodlužující přímku od síly „ F_{2V} “ a vznikne tak bod „B“. Bodem „B“ se pak vede další rovnoběžka se spojnicí bodu „ P_V “ a koncem síly „ F_{2V} “ v pólovém obrazci. Průsečík této rovnoběžky s prodlužující přímkou od síly „ F_{3V} “ je bod „C“. Při působení většího množství střížných sil se takto postupuje až k poslední síle. Dále se bodem „C“ vede rovnoběžka se spojnicí bodu „ P_V “ a koncem síly „ F_{V1} “ v pólovém obrazci. Průsečík rovnoběžek vedených body „A“ a „C“ je bod „D“, což je poloha těžiště střížných sil v horizontálním směru. Podobným způsobem lze najít i polohu těžiště ve směru vertikálním. Na průsečíku přímk vedených těmito těžišti pro horizontální a vertikální směr pak vznikne bod „0“, ve kterém se nachází hledané těžiště střížných sil.

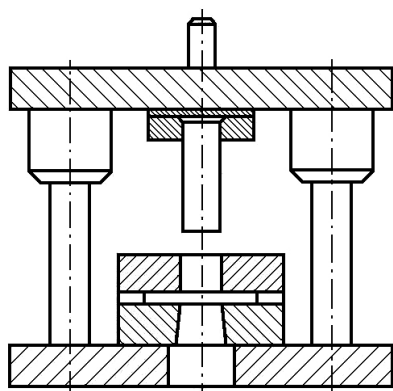
3.5 Střížné nástroje [23][18][8][13][1][2]

Stříhání plechu lze vzhledem k charakteru střížných operací (dělení pásů plechu, vystřihování, děrování) provádět různými střížnými nástroji. První skupinou jsou nástroje pro klasické stříhání na nůžkách, kde je stříh prováděn pomocí stříhacích lišt nebo kotoučových nožů apod. Druhou skupinou jsou nástroje pro klasické a přesné stříhání na lisech - stříhadla, kterým je věnována následující část této kapitoly. Stříhání na lisech lze také realizovat nepevným nástrojem, kde je střížná síla vyvozována tlakem pryže nebo polyuretanu přímo na stříhaný plech, uložený na ocelové desce, jejíž obrys je shodný s obrysem výstřižku.



Obr. 3.15 Jednoduché stříhadlo bez vodícího stojánu [23]

Stříhadla jsou nástroje s vysokou produktivitou, určené pro výrobu výstřižků na lisech. Lze s nimi provádět základní operace stříhání, jako je vystřihování a děrování součástí ve velkých sériích, protože náklady na výrobu těchto nástrojů jsou poměrně vysoké.



Obr. 3.16 Jednoduché stříhadlo s vodícím stojánkem [23]

Základními částmi stříhadel je horní pohyblivý nůž (střížník) a spodní pevný nůž (střížnice), přičemž tvar střížných hran střížníku a střížnice odpovídá obrysu výstřižku. Podle počtu a způsobu provádění operací na stříhadlech lze rozdělit na stříhadla jednoduchá, postupová, sloučená a sdružená. Základní části stříhadel jsou uvedeny na příkladu jednoduchého stříhadla bez vodícího stojánu na obr. 3.15. Horní část stříhadla se nazývá upínací hlavice a spodní část nástroje se nazývá střížná skříň. Na obr. 3.16 je uveden tentýž nástroj jako na obr. 3.15, avšak upnutý ve vodícím stojánku, jehož horní deska nahrazuje upínací desku hlavice a spodní deska stojánu nahrazuje základovou desku střížné skříně.

Vodicího stojánku se užívá při nejvyšších nárocích na přesnost výroby. Vodicí stojánky, střížné skříně a upínací hlavice jsou vyráběny jako normalizované součásti, čímž je urychlen proces konstrukce a výroby stříhadel a jsou tím také zajištěny vysoké požadavky na přesnost těchto nástrojů.

Podle požadavků na přesnost výstřižků a také podle přesnosti vedení beranu lisovacího stroje se užívají stříhadla bez vedení a s vedením. Nástroje s vedením mají vodicí desku, viz obr. 3.15, pro vedení střížníku. Jsou přesnější než nástroje bez vedení avšak výrobně náročnější. Při nízkých nárocích na přesnost a kvalitu střížné plochy a také pokud vedení beranu lisovacího stroje dokáže zaručit dostatečnou přesnost vedení nástroje, je možno použít nástrojů bez vodicí desky.

Polotovary pro stříhání na stříhadlech je obvykle pás plechu, který se posouvá skrz tento střížný nástroj. Případně je možno vkládat kusové polotovary. Z hlediska způsobu podávání pásu plechu nebo vkládání kusových polotovarů lze stříhadla rozdělit na nástroje s ručním podáváním, mechanizovaným podáváním a automatickým podáváním.

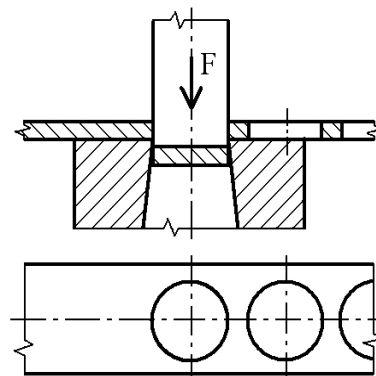
Způsob odchodu výstřižků z nástroje může být realizován buď propadáváním výstřižků otvorem ve střížnici a v základové desce, nebo protlačováním výstřižků otvorem ve střížnici vzdáleným o krok podání, případně odchodem výstřižků společně s pásem plechu v dopravní rovině.

3.5.1 Základní druhy stříhadel [18][29][34]

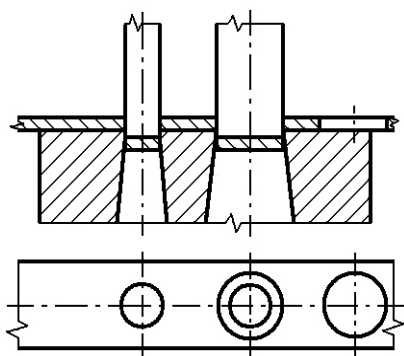
Stříhadla lze podle počtu operací na nich prováděných během jednoho pracovního zdvihu lisu rozdělit na jednoduchá, postupová, sloučená a sdružená.

Konstrukčně nejjednodušším nástrojem, jak již z názvu vyplývá, je jednoduché stříhadlo, viz obr. 3.17, které je určeno pro jedinou operaci stříhání, která je opakovaně prováděna při každém pracovním zdvihu lisu.

Více střížných operací pomocí jednoho nástroje lze pak provádět např. pomocí postupového stříhadla, viz obr. 3.18, na kterém je možno současně děrovat i vystřihovat. Součást je v tomto nástroji vyrobena postupně na několik kroků (dva a více) během několika pracovních zdvihů lisu.



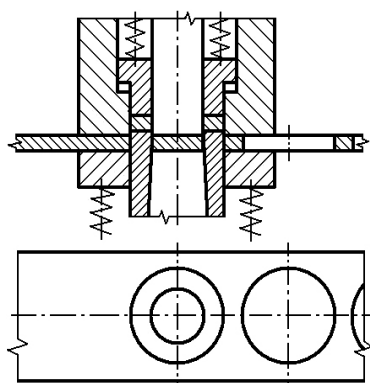
Obr. 3.17 Jednoduché stříhadlo [29]



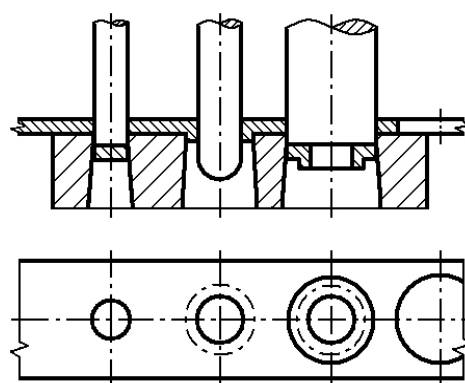
Obr. 3.18 Postupové stříhadlo [29]

Pro provádění několika střížných operací na jediném nástroji je také určeno sloučené stříhadlo, viz obr. 3.19, na kterém je však oproti postupovému stříhadlu prováděno více střížných operací na jeden krok. Za jeden pracovní zdvih lisu tedy může být provedena např. operace děrování i vystřihování současně. Tyto nástroje jsou obvykle konstruovány tak, že spodní pracovní část funguje jako střížnice pro děrování otvorů a zároveň slouží jako nehybný střížník pro vystřihování obrysového tvaru součástí. Horní pracovní část nástroje se tedy skládá ze střížnice pro vystřihování, kterou prochází střížníky pro děrování.

Při požadavku na provádění více rozdílných technologických operací, kterými je nejen stříh, ale např. i ohyb, tah apod., se používá sdružené postupové stříhadlo, viz obr. 3.20. Stříh a další zmíněné technologické operace jsou na tomto nástroji prováděny během několika pracovních zdvihů lisu.



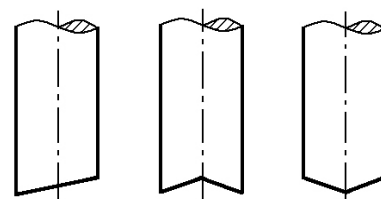
Obr. 3.19 Sloučené stříhadlo [29]



Obr. 3.20 Sdružené postupové stříhadlo [29]

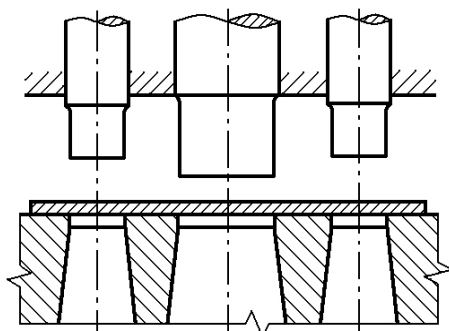
3.5.2 Konstrukce střížníků a střížnic [21][23][18][1][28]

Střížníky pro klasické stříhání se konstruují buď s rovnými čely, nebo při potřebě snížení velikosti střížné síly (např. kvůli maximální síle lisu) se užívají střížníky s různě zkosenými čely, u kterých dochází ke stříhu postupně po jejich obvodu. Příklad některých možných způsobů zkosení čela střížníku je uveden na obr. 3.21. Obdobným způsobem lze pro snížení celkové střížné síly místo zkosených čel střížníků zkosit čelní plochu střížnice. Vlivem zkosení dochází během stříhu k deformaci (ohybu) jedné z částí stříhaného plechu. Zkosení čela střížníku se proto užívá při děrování a zkosení čelní plochy střížnice naopak při vystřihování, aby nedocházelo k deformaci výstřižku, ale odpadu. Pro snížení střížné síly je také možno užít stupňovitě uspořádání střížníků, kdy jednotlivé střížníky mají různé délky a proto nedochází ke stříhu všemi střížníky najednou, ale postupně.



Obr. 3.21 Zkosení čel střížníků [18]

Upnutí střížníků v kotevní desce, viz obr. 3.15, je možno realizovat několika způsoby. Mezi nejjednodušší způsoby patří upnutí pomocí osazení na horní části střížníku, případně upnutí pomocí roznýtování této horní části, ve které je předtím střížník vyžihán. Velké střížníky, umístěné dostatečně daleko od sebe, je možno upnout pomocí šroubů za přírubu na jejich horní části. Dalšími možnostmi upnutí je např. uchycení klínem, upínkou, zalití střížníku v kotevní desce pryskyřicí apod.

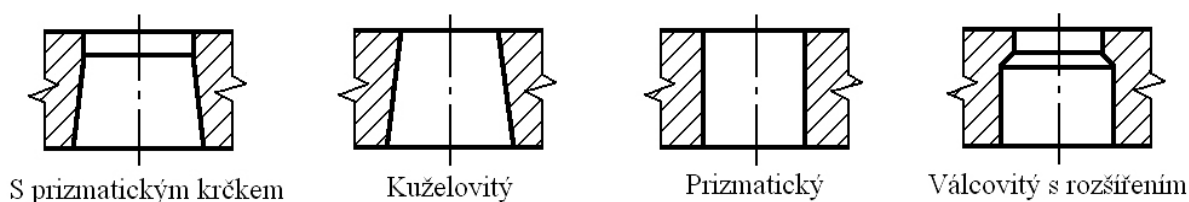


Obr. 3.22 Odstupňované střížníky [21]

Střížnice lze podle jejich konstrukce rozdělit do třech skupin. A to na střížnice celistvé, skládané a vložkované. Celistvé střížnice jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu a jsou vhodné zejména pro vystřihování jednoduchých tvarů o menších rozměrech. Skládané střížnice jsou složeny z několika částí a jsou vhodné naopak pro výstřižky složitých tvarů nebo větších rozměrů, kdy je výroba jednotlivých částí skládané střížnice jednodušší a přesnější než výroba střížnice celistvé. Vložkované

střížnice jsou konstruovány tak, že vložka z nástrojového materiálu je zalisována do střížnice např. z oceli konstrukční, čímž je ušetřeno velké množství drahého materiálu. Tento typ střížnic má obdobné výhody jako střížnice skládané a vložky lze navíc např. po jejich opotřebení poměrně snadno vyměnit.

Pracovní otvory ve střížnici lze podle charakteru střížných operací konstruovat hned několika způsoby (obr. 3.23). První možností je otvor s prizmatickým krčkem, který je vhodný pro vystříhování složitých nebo přesnějších výstřížků. Pro vystříhování menších výstřížků střední přesnosti je pak užíván kuželový otvor. Další konstrukční možností je prizmatický otvor, který je užíván při vystříhování velkých výstřížků, nebo při vystříhování se zpětným vysouváním u sloučených stříhadel. Poslední možností je válcovitý otvor s rozšířením, užíváný při prostříhování malých děr (do 5 mm).



Obr. 3.23 Konstrukce pracovních otvorů střížnic [28]

3.5.3 Stanovení rozměrů střížníků a střížnic [21][1]

Rozměry střížníků a střížnic je nutno navrhovat tak, aby výstřížky zhotovené ve stříhadle v určitém množství splňovaly požadované tolerance. Proto je nutno počítat se změnou rozměrů střížníků a střížnic, způsobenou jejich opotřebením v průběhu funkce nástroje. Opotřebením dochází k zvětšování rozměrů střížnice a zmenšování rozměrů střížníku. Při stanovování rozměrů těchto pracovních částí nástroje je buď střížník nebo střížnice uvažována jako základní a rozměry této pracovní části se stanovují podle jmenovitého rozměru a tolerancí výstřížku. Rozměry druhé pracovní části se pak volí s ohledem na velikost střížné vůle.

Při vystříhování závisí rozměry výstřížků na rozměrech střížnice a proto je velká část, případně celá, tolerance rozměru výstřížku přenesena na rozměr střížnice, kde slouží jako přídavek pro její opotřebení „ P_{os} “. Jmenovitý rozměr střížnice při vystříhování lze pak vypočítat podle vztahu (3.9) a jmenovitý rozměr střížníku dle vztahu (3.10). Přídavek na opotřebení střížnice se pro výstřížky o přesnosti IT 11 až IT 16 volí $P_{os} = 0,8 \cdot P_u$, kde „ P_u “ je dovolená úchylka výstřížku. Pro přesnější výstřížky o IT 6 až IT 9 se volí $P_{os} = P_u$.

$$D_{sv} = (D - P_{os}) + P_s \quad (3.9)$$

kde $D_{sv} \dots$ jmenovitý rozměr střížnice při vystříhování [mm]
 $D \dots$ jmenovitý rozměr výstřížku [mm]
 $P_s \dots$ výrobní tolerance střížnice [mm]

$$d_{kv} = (D_{sv} - v_{min}) - P_k \quad (3.10)$$

kde $d_{kv} \dots$ jmenovitý rozměr střížníku při vystříhování [mm]
 $D_{sv} \dots$ jmenovitý rozměr střížnice při vystříhování [mm]
 $v_{min} \dots$ minimální střížná vůle [mm]
 $P_k \dots$ výrobní tolerance střížníku [mm]

Naopak

při děrování je rozměr děrovaného otvoru závislý na rozměru střížníku, a proto je velká část, případně celá, tolerance rozměru děrovaného otvoru přenesena na rozměr střížníku ve formě přídatku na opotřebení obdobně jako u vystřihování. Jmenovitý rozměr střížníku při děrování lze stanovit pomocí vztahu (3.11) a jmenovitý rozměr střížnice pomocí vztahu (3.12). Přídatek na opotřebení střížníku „ P_{ok} “ se vzhledem k přesnosti děrovaného otvoru volí stejným způsobem jako při vystřihování.

$$d_{kd} = (d + P_{ok}) - P_k \quad (3.11)$$

kde d_{kd} ... jmenovitý rozměr střížníku při děrování [mm]
 d ... jmenovitý rozměr děrovaného otvoru [mm]
 P_k ... výrobní tolerance střížníku [mm]

$$D_{sd} = (d_{kd} + v_{min}) + P_s \quad (3.12)$$

kde D_{sd} ... jmenovitý rozměr střížnice při děrování [mm]
 d_{kd} ... jmenovitý rozměr střížníku při děrování [mm]
 v_{min} ... minimální střížná vůle [mm]
 P_s ... výrobní tolerance střížnice [mm]

3.5.4 Materiály pro výrobu stříhadel [1][2]

Materiály používané pro výrobu jednotlivých částí stříhadel je možno rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou nástrojové materiály, ze kterých jsou vyráběny pracovní části nástroje (střížník, střížnice apod.). Druhou skupinu pak tvoří materiály konstrukční, ze kterých se vyrábí ostatní části, potřebné k zajištění funkce nástroje.

Jako nástrojových materiálů se nejčastěji užívá nástrojových ocelí, které se zpravidla používají v tepelně zpracovaném stavu. Přehled používaných nástrojových ocelí je uveden v tab. 3.2. Pro konstrukci pracovních částí nástrojů je také možno užít slinutých karbidů, které mohou výrazně zvýšit životnost nástroje. Slinuté karbidy jsou však poměrně drahé a špatně obrobitelné a jejich použití je proto vhodné jen pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Při použití slinutých karbidů je navíc nezbytně nutné konstruovat nástroj tak, aby části vyrobené ze slinutých karbidů byly namáhány pouze na tlak a otěr z důvodu velké křehkosti tohoto materiálu.

Tab. 3.2 Přehled nástrojových ocelí [2]

Typ oceli	Označení podle ČSN	Vhodnost použití
Ledeburitické, subledeburitické	19 436, 19 437, 19 438, 19 571, 19 572, 19 581	Na stříhadla s malým nárokem na houževnatost a dobrými stříž. podmínkami
Nízkolegované	19 312, 19 713, 19 422, 14 200	Vhodné pro střížníky (velká rozměrová stálost)
Pro velké tlaky	19 655, 19 614, 19 622	Pro stříhadla vystavená velkým střížným silám a vylamování břitů
Odolné proti rázu	19 356, 19 421	Oceli odolné proti velkým rázům
Uhlíkové oceli	19 221, 19 191, 19 222, 19 192, 19 152, 19 132	Pro málo namáhaná stříhadla a střížníky
Odolné proti rázu	19 733, 19 732, 19 740, 19 452	Pro stříhadla vystavená velkým rázům a namáhání v ohybu a tlaku

Konstrukčními materiály pro výrobu stříhadel jsou obvykle konstrukční oceli, které jsou pro výrobu nepracovních částí stříhadel vhodné z důvodu dobré obrobitelnosti a nižší ceny. Přehled používaných konstrukčních ocelí je uveden v tab. 3.3. Pro výrobu některých součástí rozměrných nástrojů jsou jako konstrukční materiály užívány také litiny. Přehled používaných litin je uveden v tab. 3.4.

Tab. 3.3 Přehled konstrukčních ocelí [2]

Typ oceli	Označení podle ČSN	Vhodnost použití
Neušlechtilé	11 107, 11 110	Na drobné součásti nástrojů
	11 340, 11 370	Pro méně namáhané součásti, opěrné desky
	11 373, 11 375, 11 353, 11 423, 11 523	Pro svařování konstrukčních dílů nástrojů
	11 500 11 600	Pro klíny, pera, upínací, kotevní desky
Zušlechťované	12 060, 12 061	Stírače, upínací hlavice, stopky, opěrné vložky
	12 040, 12 090, 13 180, 14 180	Šroubové, talířové, listové pružiny
	14 260, 15 260	Nejnamáhanější pružinové součásti
	42 6450.2	Pružiny
Oceli cementační	12 010, 12 020	Součásti vodícího mechanismu, sloupky, pouzdra
	14 120, 14 220	Součásti s velmi tvrdou cementační vrstvou
Oceli na odlitky	42 2640, 42 2650	Pro rozměrnější desky a jiné součásti nástrojů

Tab. 3.4 Přehled litin pro konstrukci nástrojů [2]

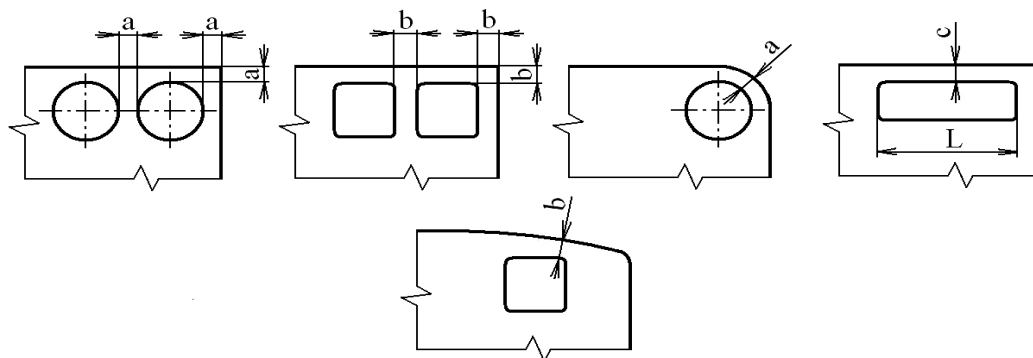
Typ litiny	Označení podle ČSN	Vhodnost použití
Šedá	42 2425	Značně namáhané součásti, stojánky
	42 2430	Značně namáhané součásti tlustších stěn
Očkováná	42 2456	Pro součásti vyžadující dobré kluzné vlastnosti, ložiska
Tvárná	42 2303, 42 2304, 42 2305	Pro vyšší tlaky, dynamicky namáhané desky

3.6 Technologičnost součástí [31][34][1][2][30][28]

Konstrukce stříhaného dílu a technologický postup jeho výroby má být navrhována tak, aby výstřížek bylo možné vyrobít co nejrychleji, při použití jednoduchých nástrojů a při minimálních výrobních nákladech. Současně musí být dodrženy technické a provozní požadavky kladené na výstřížky. Tzn., že výstřížek musí zcela vyhovovat svému účelu a provozním podmínkám. Dále musí mít požadovanou tuhost a přesnost, být výrobně jednoduchý a vyráběný s malou spotřebou materiálu. Konstrukce výstřížku musí také respektovat nedokonalosti střížného procesu (usmyknutí střížné plochy, drsnost apod.), výrobní možnosti nástroje atd.

Aby bylo možno splnit uvedené podmínky, je při konstruování součástí, které mají být vyráběny stříháním, nutno dodržovat určité zásady, kterými je:

- Dodržovat minimální vzdálenosti otvorů od okraje výstřižku a mezi otvory, jak je uvedeno v tab. 3.5 podle obr. 3.24.
- Dodržovat nejmenší povolené velikosti stříhaných otvorů.
- Konstruovat spíše kruhové otvory než nekruhové z důvodů levnější výroby.
- Šířku štíhlých výstřižků a vyčnívajících částí volit větší jak 1,5 násobek tloušťky stříhaného plechu.
- Nekonstruovat ostré tvary v rozích vnitřních obrysů. Volit poloměr zaoblení větší jak 0,5 násobek tloušťky stříhaného plechu.
- Nekonstruovat rohy a vnitřní zářezy o příliš ostrých úhlech.
- Nepředepisovat drsnost ani kolmost střížné plochy, není-li funkční plochou součásti.
- Rovinnost výstřižků předepisovat jen v nezbytných případech.
- Výstřižky konstruovat např. ve tvaru rovnoběžníka nebo rovnoramenného trojúhelníka než kruhové z hlediska úspory materiálu.
- Složitější výstřižky je vhodné konstruovat tak, aby svými částmi do sebe zapadaly a tím umožnit lepší rozmístění výstřižků na stříhaném plechu z hlediska úspory materiálu.



Obr. 3.24 Vzdálenost otvorů od okraje výstřižku [1]

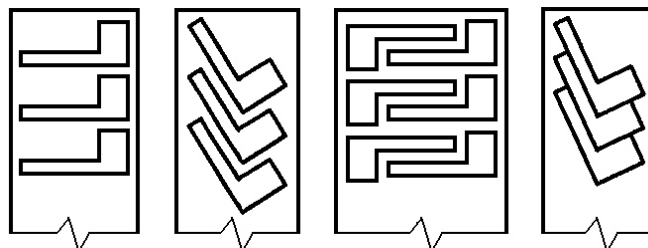
Tab. 3.5 Vzdálenost otvorů od okraje výstřižku podle obr. 3.24 [2]

Tloušťka plechu [mm]	Rozměr a [mm]	Rozměr b [mm]	Rozměr c [mm]			
			Pro šířku otvoru L [mm]			
			5 až 50	50 až 100	100 až 200	nad 200
do 1	1,5	2,5	3	8	13	20
1 až 1,6	2,4	3,2	4,5	8	13	20
1,6 až 2	3	4	6	10	14	25
2 až 2,5	3,7	4,5	7	10	16	25
2,5 až 3,2	4,8	5	8	13	20	28
3,2 až 4	6	6	9	13	20	28
4 až 5	7	8	10	16	22	32

Při velkém počtu vyráběných výstřižků má nezanedbatelný význam úspora materiálu a při velkosériové výrobě dokonce svým významem přesahuje všechny ostatní zdroje úspor. Je proto nutné při výrobě většího množství určitých výstřižků dosáhnout co nejlepšího využití výchozího polotovaru.

Výchozí polotovary pro stříhání na stříhadlech se používá buď ve formě pásu plechu o určité šířce, který je odvíjen ze svitku, nebo ve formě tabulí plechu, které je nutno rozstříhat na pruhy. Hospodárnější využití plechu je ve formě svitků, pro jejichž zpracování je však zapotřebí dalších zařízení, kterými nemusí každá lisovna disponovat. Šířka pásu nebo pruhu plechu se volí co nejmenší, ale jen do takové míry, aby bylo možno ještě vyrobit kvalitní výstřižek. Výstřižky se na plechu rozmísťují do tzv. nástřihového plánu.

V nástřihovém plánu se výstřižky rozmísťují tak, aby využití plechu bylo co největší, tedy aby množství vzniklého odpadu bylo minimální. Nástřihový plán se volí v závislosti na tvaru a konstrukci výstřižků. Na obr. 3.25 jsou uvedeny příklady různých rozmístění výstřižků v nástřihovém plánu, kde poslední varianta je tzv. stříhání bez přepážky odpadu mezi výstřižky, při které je dosaženo největšího využití pásu plechu. Hospodárnost nástřihového plánu lze charakterizovat tzv. součinitelem využití materiálu, který lze vypočítat podle vztahu (3.13).



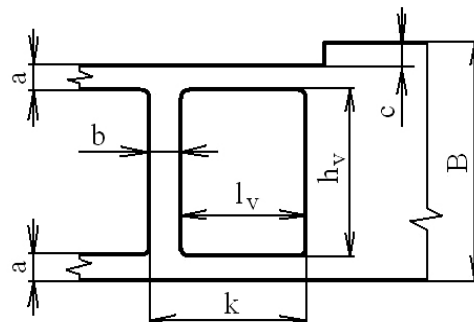
Obr. 3.25 Příklady volby nástřihových plánů [34]

$$k_m = \frac{S_c \cdot n_v}{L \cdot B} \cdot 100 \quad (3.13)$$

kde k_m ... součinitel využití materiálu [%]
 S_c ... plocha výstřižku bez otvorů [mm²]
 n_v ... počet výstřižků vyrobených z pásu nebo pruhu [-]
 L ... délka pásu nebo pruhu včetně koncových odpadů [mm]
 B ... šířka pásu nebo pruhu [mm]

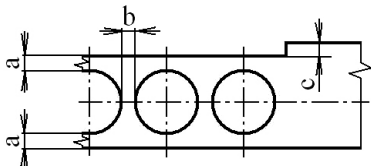
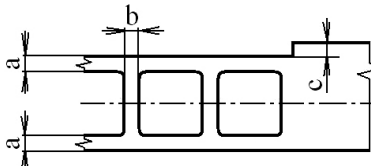
Pro dodržení kvality výstřižků a zajištění bezproblémového podávání odpadu je nutno v nástřihovém plánu dodržet předepsané velikosti mezer mezi jednotlivými výstřižky a také mezi výstřižky a okrajem pásu nebo pruhu plechu. Tyto mezery jsou nazývány jako tzv. můstky (obr. 3.26 - rozměry „a“ a „b“), které musí být dostatečně pevné, aby vydržely namáhání při podávání polotovaru. Šířku můstků je však potřeba volit s ohledem na jejich pevnost co nejmenší z důvodu úspory materiálu. Optimální hodnoty šířek můstků v závislosti na tloušťce stříhaného plechu a šířce pásu nebo pruhu jsou uvedeny v tab. 3.6.

Při stříhání je dále nutno stanovit tzv. krok, o který se posouvá polotovary po provedení stříhu, tedy po každém pracovním zdvihu lisu. Velikost kroku lze stanovit ze vztahu (3.14). Zajištění přesného kroku je možno např. pomocí dorazů, nebo lze užít tzv. bočního posuvového nože, který odstříhne okraj plechu v délce odpovídající požadovanému kroku. Plech je pak vždy doražen na čelní plošku vniklou odstřížením jeho okraje. Šířka odstříhovaného okraje „c“ v závislosti na tloušťce plechu je uvedena v tab. 3.6.



Obr. 3.26 Rozměry nástřihového plánu [28]

Tab. 3.6 Rozměry můstků v závislosti na tloušťce plechu [2]

Tloušťka plechu [mm]																	
	Šířka pásu (pruhu) [mm]									Šířka pásu (pruhu) [mm]							
	do 15		15-50		50-100		100-200		do 15		15-50		50-100		100-200		
	Rozměr a, b [mm]									Rozměr a, b [mm]							
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
1	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3,8	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3,5	3,7	
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	3,1	3,8	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	
1,5	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	3,2	4	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	
1,8	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	3,3	4,2	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	4	4,3	
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,5	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4,2	5	
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,6	4,5	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	
2,5	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	3,7	4,7	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	
2,8	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	3,8	4,7	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,5	5,2	
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	4	5	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	5	5,5	

Tab.3.7 Šířka okraje při odstřihování bočním nožem [28]

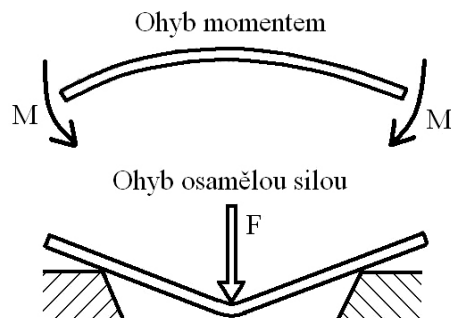
Tloušťka plechu [mm]	Šířka ostříhovaného okraje c [mm]
do 1	1,5
1,5 až 2,5	2
2,5 až 3,5	2,5

$$k = l_v + b \quad (3.14)$$

kde k ... krok [mm]
 l_v ... délka výstřižku [mm]

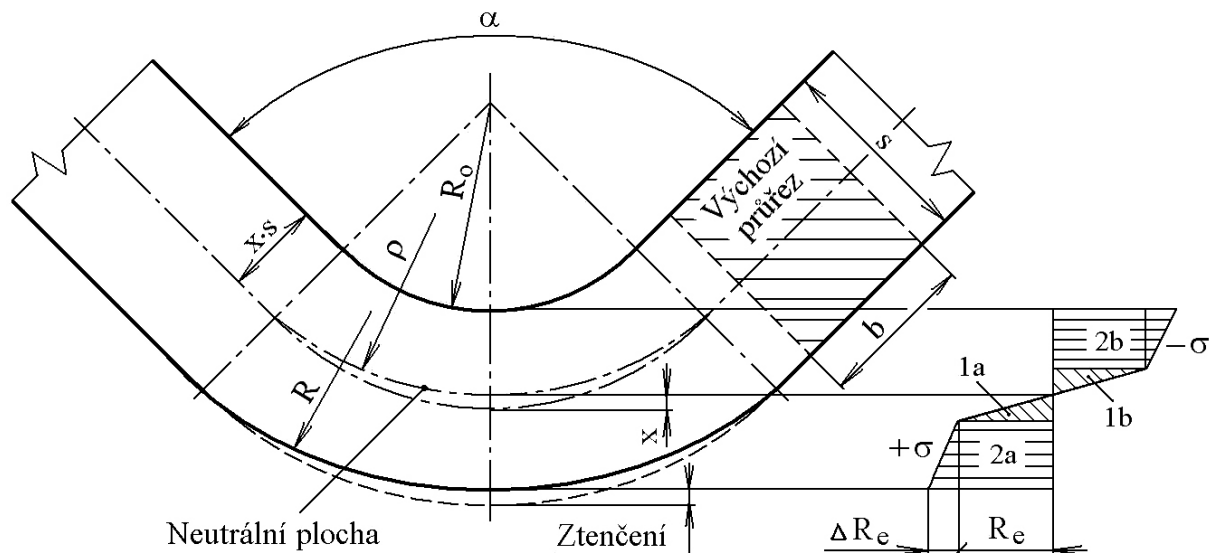
4 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ [11][7][18][34][1]

Ohýbání je proces, při kterém dochází k trvalým deformacím materiálu ve formě plechů, tyčí, drátů apod. v důsledku působení lokálních sil nebo ohybových momentů (obr. 4.1) a dochází při něm ke změně křivosti ohýbaného polotovaru. Nejčastěji se ohýbání užívá k zmenšování poloměru zakřivení a tím k vytváření ostrých nebo oblých hran, případně oblých ploch. Pokud dochází k zvětšování poloměru zakřivení, jde o tzv. rovnání. Během ohýbání se dosahuje požadované změny tvaru bez výrazné změny průřezu ohýbaného materiálu a proto ohýbání patří do oblasti plošného tváření. Ohyb plechů apod. je prováděn nejčastěji za studena, avšak materiály křehké a takové, jejichž průřezy mají velký modul odporu proti ohybu, je nutno ohýbat za tepla.



Obr. 4.1 Ohyb momentem a osamělou silou [11]

Během procesu ohýbání dochází v materiálu ke vzniku napětí, která jsou na vnější straně ohybu tahová a na vnitřní straně ohybu tlaková. V oblasti střední části průřezu ohýbaného materiálu jsou napětí nižší než mez kluzu, a proto je deformace materiálu v těchto místech pouze pružná. Směrem od střední části průřezu k povrchu ohýbaného materiálu však dochází k nárůstu napětí a od určité hodnoty napětí a tedy od určité vzdálenosti směrem k povrchu plechu pak vznikají trvalé plastické deformace. V místě změny napětí z tahového na tlakové se nachází tzv. neutrální plocha, viz obr. 4.2, vyznačující se nulovým napětím. Neutrální plocha je jediné místo, kde nedochází k prodlužování ani zkracování vláken ohýbaného materiálu. Na počátku ohybu se neutrální plocha nachází uprostřed průřezu materiálu. V průběhu ohýbání však v závislosti na zmenšujícím se poloměru ohybu dochází k posunutí neutrální plochy směrem k vnitřní straně ohybu a tudíž jejímu vzdalování od osy těžiště ohýbaného materiálu.



R_o - poloměr ohybu, α - úhel ohybu, x - posunutí neutrální plochy,
 ρ - poloměr neutrální plochy, (1a, 1b) - oblasti pružných deformací,
 (2a, 2b) - oblasti plastických deformací (se zpevněním ΔR_e)

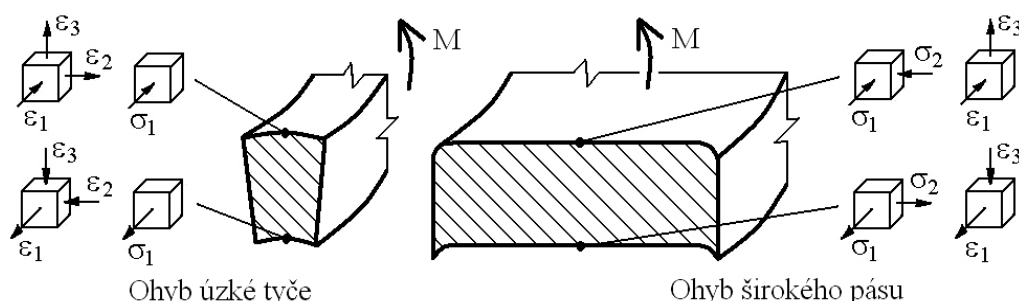
Obr. 4.2 Schéma ohybu [7]

4.1 Napjatost a deformace [11][19][18][28]

Stav napjatosti a deformace během procesu ohýbání je závislý na rozměrech výchozího průřezu ohýbaného materiálu. Je tedy nutno nejdříve rozlišit, zda se jedná o ohyb tzv. úzkých tyčí nebo širokých pásů.

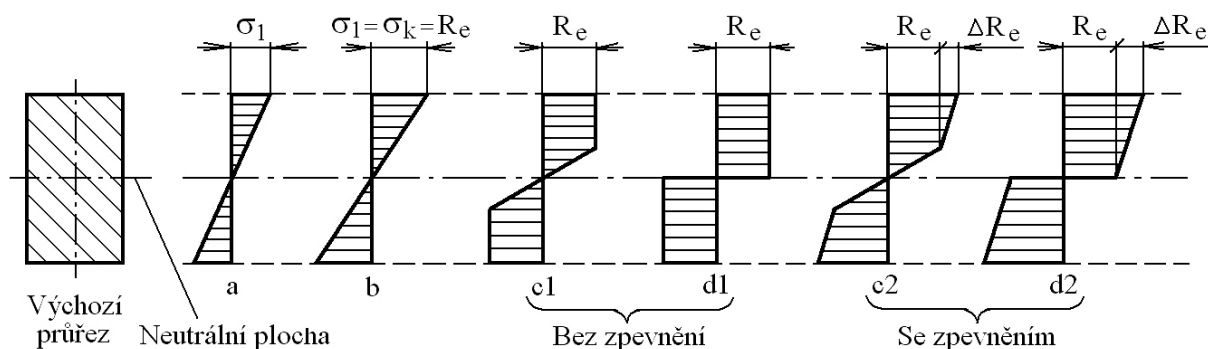
Při ohybu úzkých tyčí, jejichž šířka je menší než tloušťka, viz obr. 4.3, dochází v krajních vláknech ke vzniku jednoosé napjatosti „ σ_1 “, kdy napětí „ σ_2 “ ve směru šířky průřezu tyče je v tomto případě zanedbatelné. Napjatost, jak již bylo zmíněno v kap. 4, je na vnější straně ohybu tahová a na vnitřní straně tlaková. Deformace odpovídající této napjatosti je nestejnorodá a prostorová. Z tohoto důvodu dochází na vnější straně ohybu k zužování průřezu tyče na straně vnitřní k jeho rozšiřování.

Během ohybu širokých pásů, jejichž šířka je mnohem větší než tloušťka (ohyb plechu), působí v krajních vláknech nejen napětí „ σ_1 “, ale i „ σ_2 “ a vzniká zde proto rovinná napjatost (obr. 4.3). Z důvodu větší šířky průřezu je v tomto směru zabráněno deformaci „ ϵ_2 “. Deformace, stejně jako napjatost v krajních vláknech, je zde proto rovinná.



Obr.4.3 Schéma napjatosti a deformace při ohybu [19]

Průběh napětí „ σ_1 “ ve směru kolmém na neutrální plochu je pro jednotlivé fáze ohybu uveden na obr. 4.4. V první fázi dochází pouze k pružnému ohybu (obr. 4.4a) až do doby, než napětí „ σ_1 “ dosáhne na povrch součásti meze kluzu „ R_e “ (obr. 4.4b). Poté dochází k pružně plastickému ohybu, který může být bez zpevnění při ohybu za tepla (obr. 4.4c1) nebo se zpevněním „ ΔR_e “ při ohybu za studena (obr. 4.4c2). Při zvyšujícím se ohybovém momentu dochází ke zmenšování oblasti pružných deformací, až od určité hodnoty momentu dojde zcela k zániku této oblasti. Ohyb je pak čistě plastický a velikost napětí „ σ_1 “ v průřezu se dále již nemění. Průběh napětí při čistě plastickém ohybu bez uvažování zpevnění je pak uveden na obr. 4.4d1 a se zpevněním na obr. 4.4d2.

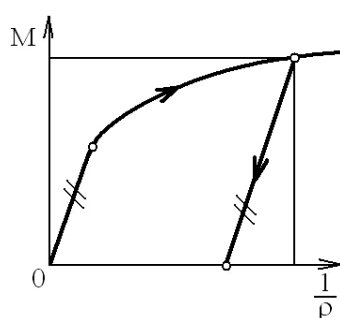


Obr. 4.4 Průběhy napětí v materiálu při jednotlivých fázích ohybu [11][18]

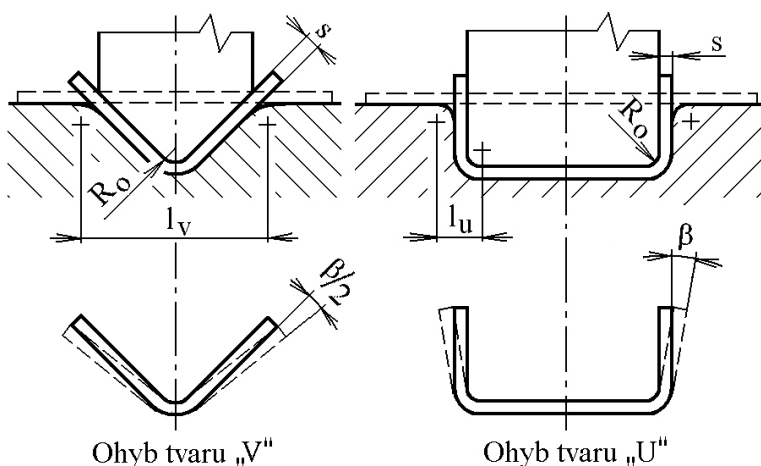
4.2 Odpružení [11][7][23][18][28][12]

Jak je již uvedeno v kap. 4.1, ohyb vzniká plasticou deformací materiálu, která je doprovázena deformací elastickou. Po ukončení procesu ohýbání a odlehčení ohýbaného tělesa však elastická deformace zmizí. Dojde k tzv. odpružení, které má za následek, že křivost „ $1/\rho$ “ ohýbané součásti, které bylo dosaženo při procesu ohýbání, se zmenší (obr. 4.5).

Odpružení se projevuje zvětšením úhlu ohybu a jeho velikost závisí na ohýbaném materiálu, rozměrech ohýbaného průřezu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Základními způsoby ohýbání je ohyb do tvaru „V“ a „U“ (obr. 4.6). Úhel odpružení „ β “ lze pak pro ohyb tvaru „V“ přibližně stanovit podle vztahu (4.1) a pro ohyb tvaru „U“ podle vztahu (4.2). Aby materiál byl ohnut v předepsaném úhlu, je pak zapotřebí jej ohýbat v úhlu větším o zjištěný úhel odpružení.



Obr. 4.5 Změna křivosti po odlehčení [19]



Obr. 4.6 Odpružení při ohybu do tvaru „V“ a „U“ [7][18]

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (4.1)$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (4.2)$$

kde l_v ... vzdálenost mezi opěrami ohybnice při ohybu do „V“ [mm]
 l_u ... vzdálenost při ohybu do „U“ [mm] (obr. 4.6)
 k ... součinitel určující polohu neutrální plochy: $k = 1 - x$, kde x je součinitel posunutí neutrální plochy (tab.4.1).
 E ... modul pružnosti ohýbaného materiálu v tahu [MPa]

Tab. 4.1 Součinitel posunutí neutrální plochy v závislosti na poloměru ohybu [12]

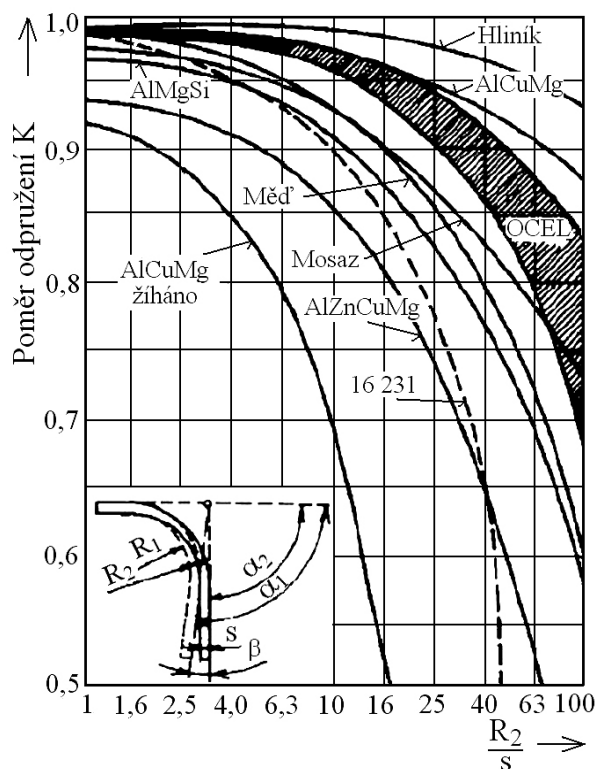
R_o/s	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

Úhel odpružení „ β “ se stanovuje pro ohyby s menším poloměrem zakřivení. Při velkých poloměrech ohybu ($R_0/s > 20$) je vhodnější stanovovat změnu poloměru ohybu před odpružením a po odpružení. Odpružení se pak stanoví pomocí diagramu na obr. 4.7 jako poměr těchto poloměrů „ K “ (4.3). Pomocí uvedeného vztahu je pak možno snadno zjistit přímo hodnotu poloměru, na který je potřeba materiál ohnout, aby výlisek měl po odpružení předepsané rozměry.

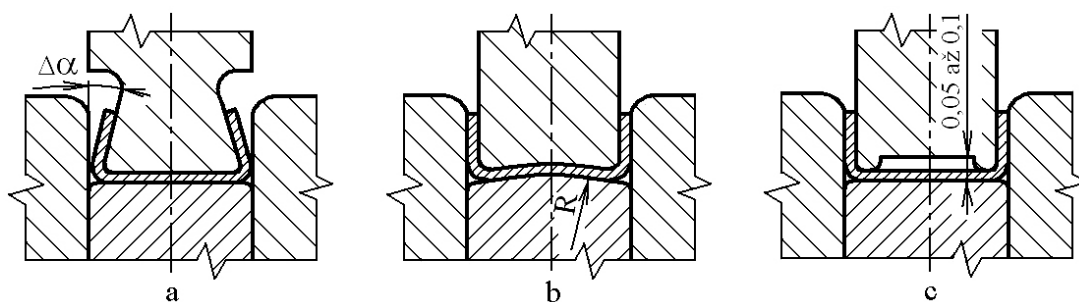
$$K = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{R_1 + 0,5 \cdot s}{R_2 + 0,5 \cdot s} \quad (4.3)$$

kde $\alpha_1 \dots$ úhel před odpružením [°]
 $\alpha_2 \dots$ úhel po odpružení [°]
 $R_1 \dots$ poloměr ohybu před odpružením [mm]
 $R_2 \dots$ poloměr ohybu po odpružení [mm]

Při ohýbání v ohýbadlech, viz kap. 4.7, je možno odpružení zmenšit vhodnými konstrukčními úpravami. Základní možné konstrukční úpravy jsou např. zkosení ohybníku (obr. 4.8a), zaoblení spodní hrany ohybníku nebo přidržovače (obr. 4.8b), zpevnění materiálu v blízkosti ohybu (obr. 4.8c) apod.



Obr. 4.7 Diagram pro stanovení poměru K [11]



Obr. 4.8 Zmenšení odpružení konstrukční úpravou ohýbadla [23]

4.3 Rozvinutá délka polotovaru [26][1][28]

Pro dosažení požadovaných rozměrů ohýbané součásti je nutno stanovit rozvinutou délku polotovaru, která odpovídá délce neutrální plochy součásti, protože pouze na neutrální ploše nedochází k prodlužování ani zkracování vláken ohýbaného materiálu. Výpočet rozvinuté délky výchozího polotovaru je založen na součtu délek rovných úseků „ a “ a délek neutrálních ploch v obloucích ohybů „ l “, viz obr. 4.9.

Protože při ohýbání dochází v závislosti na poloměru ohybu k posouvání neutrální plochy směrem k vnitřní straně ohybu, je potřeba pro stanovení délky neutrální plochy v oblouku určit nejdříve její poloměr „ ρ “ (obr. 4.2) např. podle vztahu (4.4). Délku neutrální plochy v oblouku lze pak stanovit podle vztahu (4.5) a potřebnou rozvinutou délku výchozího polotovaru podle vztahu (4.6).

$$\rho = R_o + x \cdot s \quad (4.4)$$

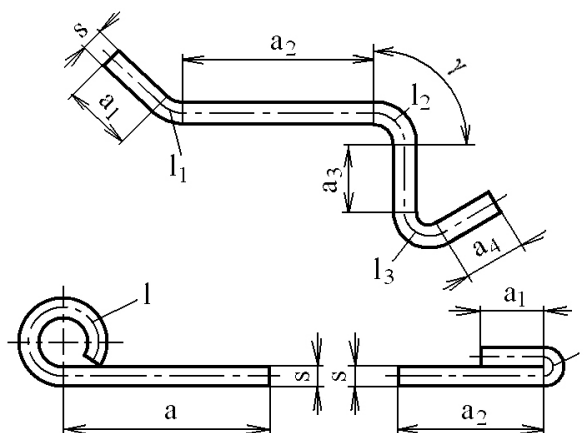
kde $R_o \dots$ poloměr ohybu [mm]
 $x \dots$ součinitel posunutí neutrální plochy v závislosti na poloměru ohybu [-], který lze určit z tab. 4.1 a pro ohyby větší jak 180° je doporučeno volit $x = 0,5$

$$l = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \gamma}{180} \quad (4.5)$$

kde $l \dots$ délka neutrální plochy v oblouku ohybu [mm]
 $\gamma \dots$ úhel ohnutého úseku [$^\circ$], ($\gamma = 180 - \alpha$)

$$L = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m a_j \quad (4.6)$$

kde $L \dots$ rozvinutá délka výchozího polotovaru [mm]
 $l_i \dots$ délky neutrálních ploch v obloucích ohybů [mm]
 $a_j \dots$ délky rovných úseků [mm]



Obr. 4.9 Úseky délek neutrální plochy [1]

4.4 Minimální a maximální poloměr ohybu [7][26][12]

Minimální poloměr ohybu „ R_{\min} “ je mezní hodnota poloměru, na který je materiál možno ohnout, aby na vnější tahové straně ohybu nedošlo k překročení meze pevnosti materiálu v tahu a tím jeho porušení ve formě trhlin. Obvykle se hodnoty poloměru ohybu volí alespoň o 20 % větší a přímo hodnot minimálního poloměru ohybu se využívá pouze v nutných případech. Velikost minimálního poloměru ohybu je možno stanovit podle vztahu (4.7).

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right) = c \cdot s \quad (4.7)$$

kde $\epsilon_c \dots$ mezní prodloužení [-]
 $c \dots$ koeficient [-] (tab. 4.2)

Tab. 4.2 Hodnoty koeficientu c [12]

Materiál	Koeficient c [-]
Měkká ocel	0,5 až 0,6
Měkká mosaz	0,3 až 0,4
Hliník	0,35
Dural	3 až 6
Měkká měď	0,25

Maximální poloměr ohybu „ R_{\max} “ je mezní hodnota poloměru, na kterou je potřeba materiál alespoň ohnout, aby v krajních vláknech ohybu vznikla trvalá deformace a nedošlo proto po odtížení ohýbaného polotovaru k jeho narovnání do původního tvaru. Velikost maximálního poloměru ohybu lze stanovit podle vztahu (4.8). Pro dosažení větších poloměrů než je maximální poloměr ohybu je možno užít např. metody ohybu s vypínáním, kdy je materiál nejen ohýbán, ale také natahován, čímž je zajištěn vznik plastických deformací v krajních vláknech ohýbaného materiálu.

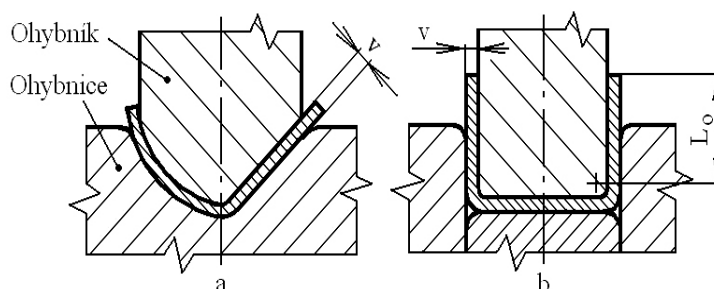
$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad (4.8)$$

4.5 Vůle mezi pracovními částmi ohýbadla [23][34][1]

Při ohýbání na lisech je nutno mezi plochami pracovních částí ohýbadla (ohybničem a ohybnicí), viz kap. 4.7, dodržet optimální velikost vůle „ v “ (obr. 4.10), jejíž hodnota je závislá na druhu a určení konkrétního ohýbadla. Velikost vůle má vliv na jakost ohýbané součásti a také, podobně jako velikost poloměru ohybu, ovlivňuje hodnotu potřebné ohýbací síly.

Pro ohyb do tvaru „V“ a jemu podobné ohyby např. s oblými rameny, viz obr. 4.10 a, se vůle mezi ohybničem a ohybnicí obvykle volí shodná s tloušťkou ohýbaného materiálu. Nastavení vůle při ohybu do „V“ lze pak provést seřízením sevření lisu.

Pro ohyb do tvaru „U“ je velikost vůle (myšleno jako mezera mezi ohybničem a ohybnicí na jedné straně od osy tvaru „U“) závislá na tloušťce a toleranci tloušťky ohýbaného polotovaru a také na délce jeho ramene „ L_o “ (obr. 4.10). Velikost vůle pro ohyb do tvaru „U“ lze pak stanovit podle vztahu (4.9).



Obr. 4.10 Vůle mezi ohybničem a ohybnicí [34][1]

$$v = (s \text{ až } s_{\max}) + c \cdot s \quad (4.9)$$

kde s_{\max} ... největší tloušťka ohýbaného plechu = horní mezní rozměr [mm]
 c součinitel vlivu tření ohýbaného plechu o ohybnici, který lze v závislosti na délce ramene L_o určit z tab. 4.3.

Tab. 4.3 Součinitel vlivu tření ohýbaného plechu o ohybnici „ c “ [23]

Délka ramene L_o [mm]	Tloušťka ohýbaného plechu s [mm]			
	do 0,5	0,5 až 2,0	2,0 až 4,0	4,0 až 7,0
	Součinitel c [-]	Součinitel c [-]	Součinitel c [-]	Součinitel c [-]
10	0,10	0,10	0,08	-
20	0,10	0,10	0,08	0,06
35	0,15	0,10	0,08	0,06
50	0,20	0,15	0,10	0,08
75	0,20	0,15	0,10	0,10
100	-	0,15	0,10	0,10
150	-	0,20	0,15	0,10
200	-	0,20	0,15	0,15

Přibližně lze velikost optimální vůle pro ohyb oceli stanovit podle vztahu (4.10) a pro ohyb neželezných kovů (měď, mosaz, hliník) podle vztahu (4.11).

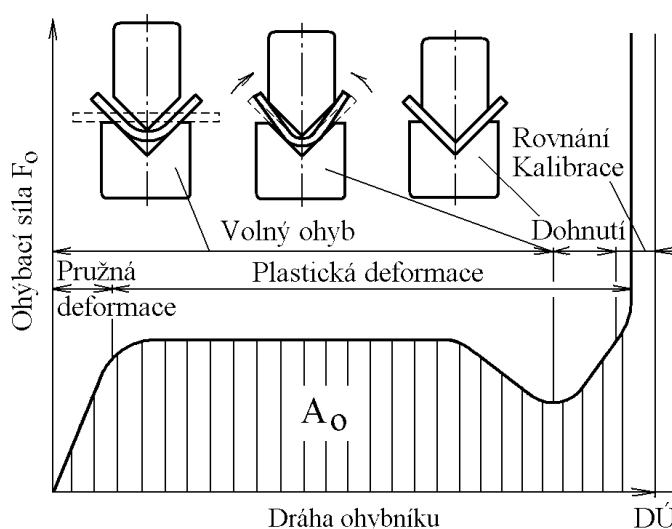
$$v = (1,05 \text{ až } 1,15) \cdot s \quad (4.10)$$

$$v = (1,0 \text{ až } 1,1) \cdot s \quad (4.11)$$

Podle toho, který rozměr ohýbané součásti je potřeba dle jejího výkresu zachovat, se určuje směr vůle. Při požadavku na dodržení vnějšího rozměru součásti se vůle vytváří na úkor rozměru ohybníku a naopak při požadavku na dodržení vnitřního rozměru součásti se vůle vytváří pomocí změny rozměru ohybnice.

4.6 Ohýbací síla a práce [23][8][26][1]

Pro stanovení velikosti ohýbací síly a práce je zapotřebí nejdříve rozlišit, zda se jedná o ohyb do tvaru „V“ nebo do tvaru „U“. Velikost ohýbací síly se během ohybu mění. Průběh ohýbací síly v závislosti na dráze ohybníku při ohybu do tvaru „V“ je uveden na obr. 4.11. V první fázi ohybu ohýbací síla nejdříve poměrně rychle narůstá za vzniku pružných deformací. Dále při vzniku plastických deformací ohýbaného materiálu se síla příliš nemění, případně dokonce klesá. V poslední fázi ohybu, kdy dochází k tzv. dohnutí, však ohýbací síla opět narůstá. Při užití tzv. kalibrace ohybu, která je vhodná pro zpřesnění ohýbaného poloměru a eliminaci odpružení, dochází k největšímu nárůstu síly. Kalibrační síla může být dokonce několikanásobně vyšší než síla ohýbací. Plocha pod křivkou diagramu na obr. 4.11 pak představuje velikost ohýbací práce potřebné k provedení daného ohybu.



Obr. 4.11 Průběh ohýbací síly při ohybu do „V“ [1]

Pro ohyb do tvaru „V“ lze ohýbací sílu „ F_{ov} “ při minimálním poloměru ohybu $R_o = (0,8 \text{ až } 3) \cdot s$ a ohybu do pravého úhlu stanovit podle vztahu (4.12) a ohýbací práci pro tento tvar ohybu „ A_{ov} “ pomocí vztahu (4.13).

$$F_{ov} = \frac{2 \cdot R_m \cdot b \cdot s^2}{l} \quad (4.12)$$

$$A_{ov} = \frac{m \cdot F_o \cdot h}{1000} \quad (4.13)$$

kde b šířka ohýbané součásti [mm]
 l šířka ohybnice [mm]
 m opravný koeficient respektující průběh ohýbací síly [-], $m = 1/3$
 h pracovní zdvih [mm], $h = l/2$ (polovina šířky ohybnice)

Ohýbací sílu pro ohyb do tvaru „U“ je možno určit pomocí vztahu (4.14) a ohýbací práci pak podle vztahu (4.15).

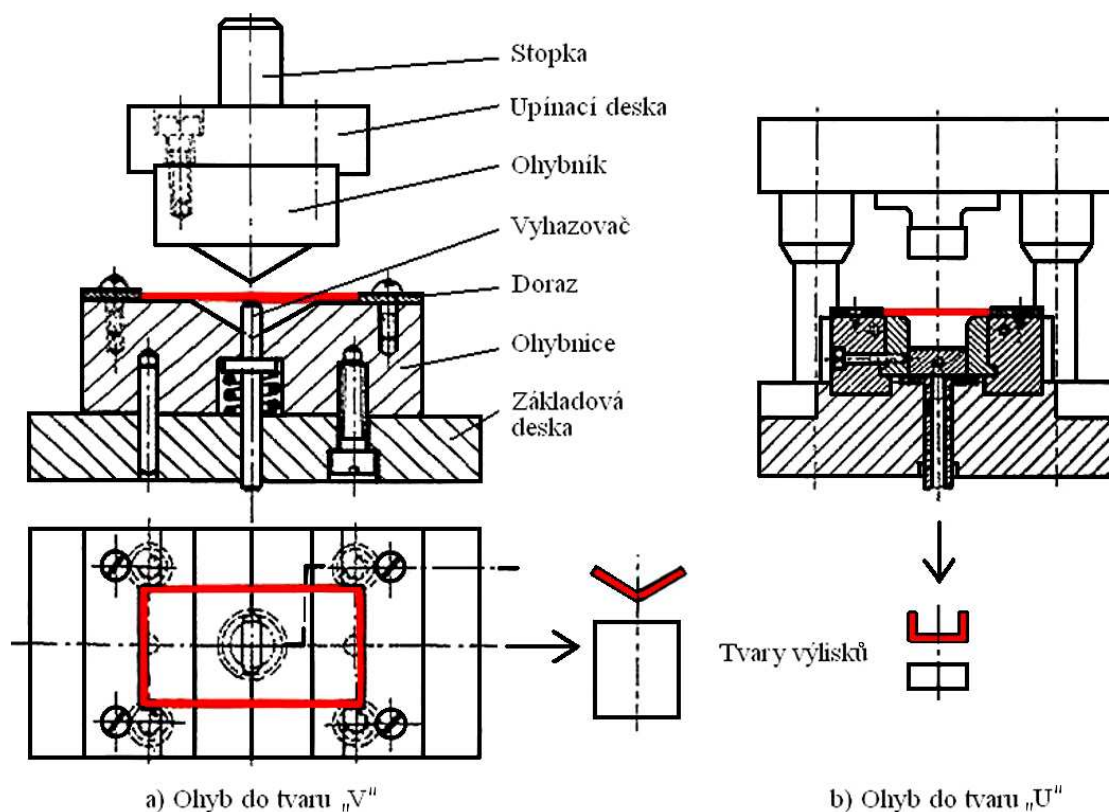
$$F_{ou} = \frac{R_m \cdot b \cdot s}{2} \quad (4.14)$$

$$A_{ou} = \frac{m \cdot (F_o + F_p) \cdot h}{1000} \quad (4.15)$$

kde F_{ou} ohýbací síla při ohybu do tvaru U [N]
 A_{ou} ohýbací práce při ohybu do tvaru U [J]
 m opravný koeficient respektující průběh ohýbací síly [-], $m = 2/3$
 F_p síla přidržovače [N], $F_p = 0,25F_o$
 h pracovní zdvih [mm], $h_{min} = 3s$, kdy s = poloměr zaoblení ohybníku a ohybnice

4.7 Nástroje pro ohýbání [23][18]

Pro ohýbání na lisech se používá tzv. ohýbadel, viz obr. 4.12, jejichž pracovními částmi je pohyblivý ohybník a pevná ohybnice. Příklad jednoduchého ohýbadla bez vedení pro ohyb do tvaru „V“ je uveden na obr. 4.12 a. Na obr. 4.12 b je pak uveden příklad jednoduchého ohýbadla ve vodicím stojánu pro ohyb do tvaru „U“. Vedení pomocí sloupků se používá pro přesnější nástroje a také při výrobě součástí o velkých sériích. Konstrukce ohýbadla pak musí být volena tak, aby na vodicí sloupky nepůsobily žádné boční posuvné síly. Ohýbadla se také často konstruují jako nástroje sdružené např. se stříhadly.

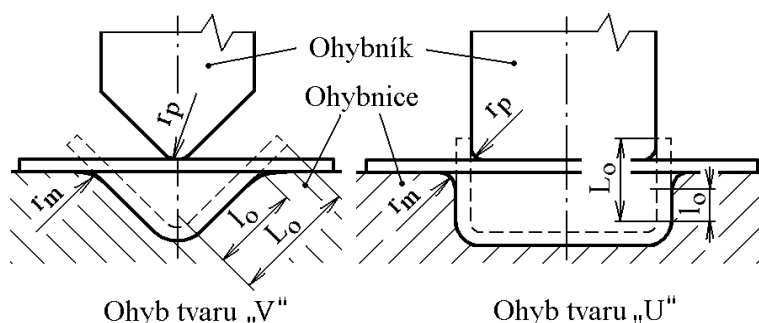


Obr. 4.12 Ohýbadla pro ohyb do tvaru „V“ a do tvaru „U“ [18]

4.7.1 Pracovní části ohýbadel [23][18]

Ohybník, viz obr. 4.13, tvoří pohyblivou pracovní část ohýbadla, která je opatřena stopkou pro upnutí v beranu lisu. Šířka ohybníku se volí minimálně stejná nebo větší než je šířka ohýbané součásti v místě ohybu. Poloměr zaoblení ohýbací hrany ohybníku „ r_p “ (dvě hrany při ohybu do tvaru „U“) se zpravidla volí shodný s poloměrem ohybu dané součásti. V některých případech se velikost poloměru zaoblení ohýbací hrany ohybníku upravuje s ohledem na odpružení ohýbaného materiálu.

Ohybnice, viz obr. 4.13, tvoří pevnou pracovní část ohýbadla. Funkční hrany ohybnice se stejně jako ohýbací hrany ohybníku konstruují s určitým zaoblením, jehož velikost má vliv na velikost ohýbací síly a jakost provedeného ohybu. Poloměr zaoblení funkčních hran ohybnice „ r_m “ se volí v rozmezí uvedeném ve vztahu (4.16). V tab. 4.4 jsou pak uvedeny doporučené hodnoty velikosti poloměru zaoblení „ r_m “ a rozměru ohybnice „ l_o “ (obr. 4.13) v závislosti na tloušťce ohýbaného plechu a délce ramene ohýbané součásti „ L_o “. Pro ohýbání plechů, jejichž tloušťka $s > 3$ mm je vhodné funkční hrany ohybnice zkosit pod úhlem 45° a vzniklé přechody jednotlivých ploch pak zaoblit s poloměrem „ r_m “. Zkosení funkční hrany ohybnice se provádí tak, aby její výška byla přibližně rovna poloměru zaoblení „ r_m “. Tuto konstrukční úpravu ohybnice lze však využít jen při dostatečně dlouhých ramenech ohýbané součásti.



Obr. 4.13 Pracovní části ohýbadla [18]

$$r_m = (2 \text{ až } 6) \cdot s \quad (4.16)$$

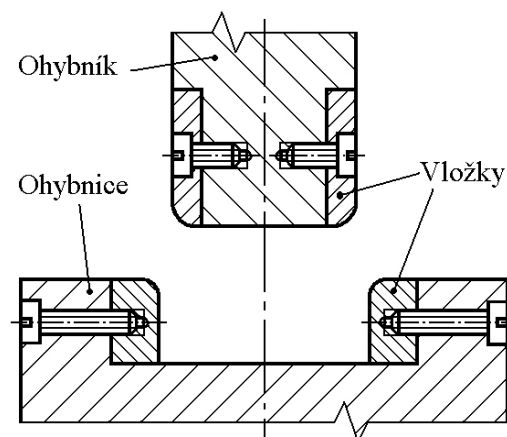
Tab. 4.16 Doporučené hodnoty zaoblení r_m a rozměru l_o ohybnice [23]

Délka ramene L_o [mm]	Tloušťka ohýbaného plechu s [mm]							
	do 0,5		0,5 až 2,0		2,0 až 4,0		4,0 až 7,0	
	r_m [mm]	l_o [mm]	r_m [mm]	l_o [mm]	r_m [mm]	l_o [mm]	r_m [mm]	l_o [mm]
10	3	6	3	10	4	10	-	-
20	3	8	4	12	5	15	8	20
35	4	12	5	15	6	20	8	25
50	5	15	6	20	8	25	10	30
75	6	20	8	25	10	30	12	35
100	-	-	10	30	12	35	15	40
150	-	-	12	35	15	40	20	50
200	-	-	15	45	20	55	25	65

4.7.2 Materiály pro výrobu ohýbadel [23][34]

Pro výrobu pracovních částí ohýbadel (ohybnic a ohybníků) je užíváno uhlíkových konstrukčních ocelí, případně uhlíkových ocelí nástrojových. Nejčastěji užívané jsou dle ČSN např. konstrukční oceli 11 500, 11 600 a nástrojové oceli 19 191, 19 312, 19 436, 19 437. Ohybníky a ohybnice se konstruují buď jako celistvé, nebo jako vložkované (obr. 4.14). Vložkování se provádí zejména u ohybníků a ohybnic větších rozměrů pro úsporu dražších materiálů. Těleso ohybníku nebo ohybnice je pak vyrobeno z konstrukční oceli a v místech funkčních ploch jsou připevněny vložky z ocelí nástrojových, případně ze slinutých karbidů.

Ostatní (nepracovní) části ohýbadel jsou vyráběny ze stejných materiálů, jako nepracovní části stříhadel, viz kap. 3.5.4.



Obr. 4.14 Vložkované části ohýbadla [23]

4.8 Technologičnost součástí [23][18][26][1]

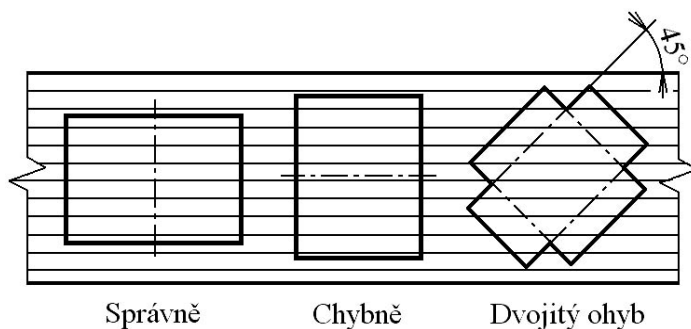
Konstrukce ohýbaných součástí a také technologický postup jejich výroby závisí především na tvárnosti zpracovávaného materiálu, které je obvykle plně využíváno. Dále musí být při konstrukci součástí respektovány některé nedokonalosti procesu ohýbání, kterými je zejména:

- Nepřesnost úhlu ohybu způsobená odlišnými velikostmi odpružení v důsledku nestejnoměrných mechanických vlastností materiálu.
- Deformace průřezu materiálu v místě ohybu a částečná deformace přilehlých částí ramen.
- Nepřesné délky ramen v důsledku nepřesnosti uložení polotovaru a nestejnoměrnosti tření na hranách pracovních částí ohýbadla.
- Nestejnoměrný tvar ohybu ve směru jeho délky z důvodu nerovnoběžnosti okraje plechu s osou ohybu.
- Trhliny na vnější straně ohybu způsobené např. příliš malým poloměrem ohybu, malou plasticitou materiálu, ohybem ve špatném směru vzhledem ke směru vláken materiálu, ořepem (vzniklým např. předchozí operací stříhání) umístěným na vnější straně ohybu apod.
- Zpevnění materiálu při ohýbání za studena.

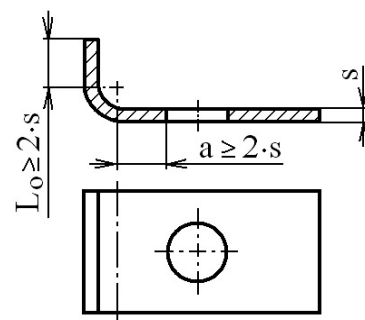
Z důvodu uvedených nedokonalostí je při konstrukci ohýbaných součástí nutno dodržovat následující zásady:

- Volit pokud možno malý poloměr ohybu pro snížení odpružení. Ne však menší než minimální poloměr ohybu.
- Osu ohybu volit kolmou ke směru vláken materiálu (směr válcování při výrobě). Minimálně však pod úhlem 30° z důvodu snížení nebezpečí vzniku trhlin na vnější straně ohybu. Při dvojitěm ohybu volit osy ohybů pod úhly 45° od směru vláken materiálu (obr. 4.15).
- Ohyb provádět dále od okraje plechu, aby byla délka ramene $L_o \geq 2 \cdot s$ (obr. 4.16).

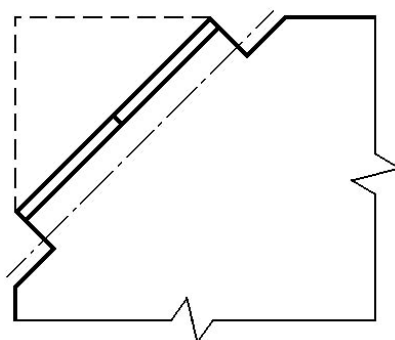
- Otvory umístit ve vzdálenosti $a \geq 2 \cdot s$ (obr. 4.16) od oblasti ohybu pro zabránění jejich deformací. Přesné otvory děrovat až po ohnutí polotovaru.
- Okraje plechu konstruovat kolmé k ose ohybu. Při šikmé ose ohybu zajistit tuto podmínku vhodnou konstrukční úpravou. Např. vystřížením částí polotovaru na koncích ohybu (obr. 4.17).
- Součásti s velkými poloměry ohybu je vhodné v místě ohybu vyztužit např. žebry.
- Nepředepisovat tolerance rozměrů pokud to nevyžaduje funkce součásti.



Obr. 4.15 Směr vláken vzhledem k ose ohybu [18]



Obr. 4.16 Minimální doporučené rozměry [26]

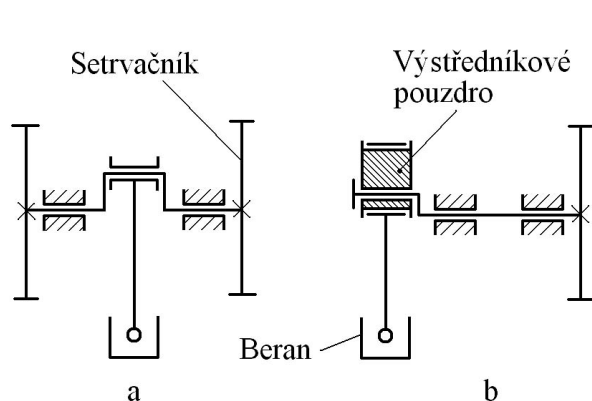


Obr. 4.17 Úprava okrajů plechu [1]

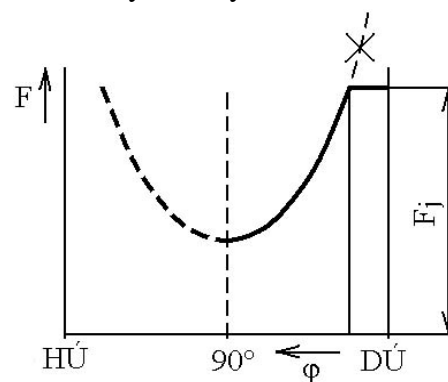
5 STROJE [21][24][16]

Pro technologické operace stříhání a ohýbání lze užít třech základních druhů lisů, kterými jsou lisy klikové, výstředníkové a hydraulické.

Klikové lisy, stejně jako lisy výstředníkové, patří do skupiny mechanických lisů. Jsou to poměrně jednoduché stroje, které se vyznačují velkou výrobností. Princip těchto lisů je založen na klikovém mechanismu, kde kliku může tvořit buď rameno pracovního hřídele (klikové lisy), viz obr. 5.1a, nebo výstředník (výstředníkové lisy), viz obr. 5.1b. Pracovní hřídel nebo výstředník je přes spojku poháněn setrvačником roztáčeným elektromotorem. Nevýhodou těchto strojů je, že klikový mechanismus dokáže vyvodit maximální tvářecí sílu až těsně před dolní úvratí, viz obr. 5.2, kde „ φ “ je úhel před dolní úvratí. Díky této skutečnosti je omezeno plné využití lisu při potřebě tvářet velkou silou po delší dráze (např. při tažení). Další nevýhodou je možnost přetížení stroje při překročení jeho jmenovité síly „ F_j “ a také nepříznivý průběh rychlosti, kdy před dolní úvratí rychlost beranu poměrně rychle klesá. I přes uvedené nevýhody jsou tyto stroje velmi často využívány.



Obr. 5.1 Klikový a výstředníkový mechanismus [16]



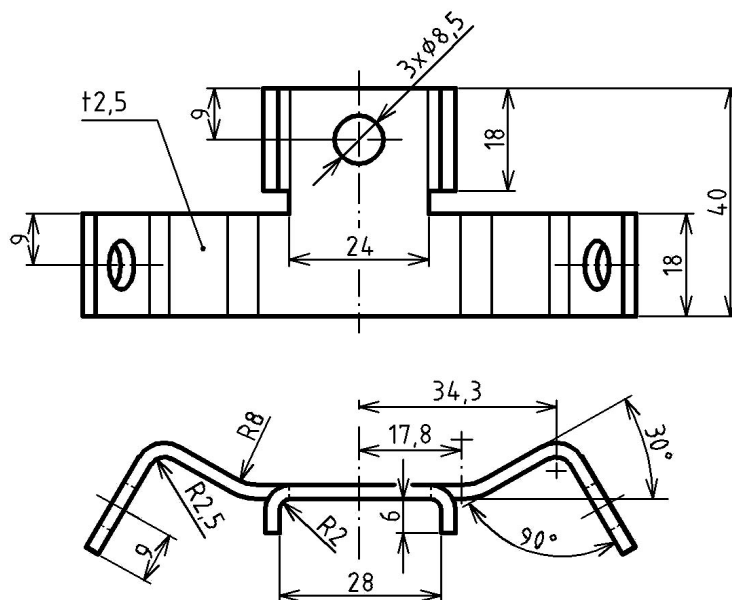
Obr. 5.2 Průběh tvářecí síly klikového mechanismu [24]

Výstředníkové lisy mají oproti lisům klikovým výhodu v možnosti nastavení velikosti zdvihu beranu pootočením pouzdra výstředníkového mechanismu (obr. 5.1b). Stojany těchto lisů se konstruují jako otevřené, čímž je umožněn lepší přístup do jejich pracovního prostoru. Nevýhoda těchto strojů je možnost naklonění beranu v důsledku napružení otevřeného stojanu při zatížení lisu. Tato skutečnost může mít za následek snížení životnosti lisovacích nástrojů.

Hydraulické lisy jsou založeny na principu rovnoměrného šíření tlaku v kapalině podle Pascalova zákona. Beran lisu je u těchto strojů poháněn tlakem kapaliny působícím na píst hydraulického válce. Výhodou hydraulických lisů je možnost libovolného nastavení zdvihu beranu a regulace rychlosti jeho pohybu. Lze tedy dosáhnout konstantní rychlosti beranu a maximální sílu je možno odebírat v libovolném místě zdvihu. Oproti mechanickým lisům tyto stroje nelze poškodit přetížením. Nevýhodou je však jejich nižší účinnost a pomalejší chod beranu, díky čemuž hydraulické lisy dosahují menší výrobnosti.

6 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Z rozvahy možných variant výroby součásti byla zvolena výroba technologií stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji. Součást bude vyráběna z ocelového hlubokotažného plechu 11 320.30 ve výrobní sérii 150 000 ks za rok. Rozměry součásti jsou uvedeny na obr. 6.1.



Obr. 6.1 Rozměry vyráběné součásti

Délky rozvinutého tvaru výpočet dle kap. 4.3

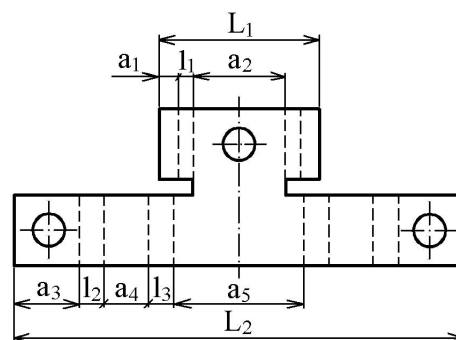
Výpočet délky L_1

Součinitel posunutí neutrální plochy je volen pro $R_{o1} = 2 \text{ mm}$: $x_1 = 0,404$ dle tab. 4.1.

$$\rho_1 = R_{o1} + x_1 \cdot s = 2 + 0,404 \cdot 2,5 = 3 \text{ mm}$$

$$l_1 = \frac{\pi \cdot \rho_1 \cdot \gamma_1}{180} = \frac{\pi \cdot 3 \cdot 90}{180} = 4,71 \text{ mm}$$

$$L_1 = 2 \cdot (a_1 + l_1) + a_2 = 2 \cdot (4 + 4,71) + 24 = 41,4 \text{ mm}$$



Obr. 6.2 Stanovované délky rozvinutého tvaru

Výpočet délky L_2

Součinitel posunutí neutrální plochy je volen pro $R_{o2} = 2,5 \text{ mm}$: $x_2 = 0,42$ dle tab. 4.1.

$$\rho_2 = R_{o2} + x_2 \cdot s = 2,5 + 0,42 \cdot 2,5 = 3,6 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{\pi \cdot \rho_2 \cdot \gamma_2}{180} = \frac{\pi \cdot 3,6 \cdot 90}{180} = 5,65 \text{ mm}$$

Součinitel posunutí neutrální plochy je volen pro $R_{o3} = 8 \text{ mm}$: $x_3 = 0,471$ dle tab. 4.1.

$$\rho_3 = R_{o3} + x_3 \cdot s = 8 + 0,471 \cdot 2,5 = 9,178 \text{ mm}$$

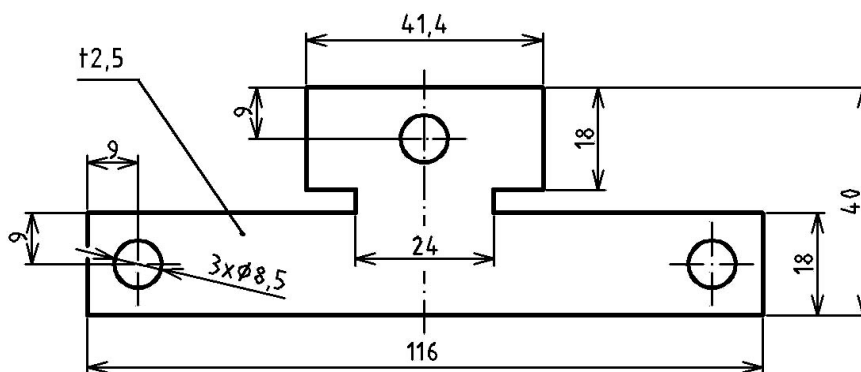
$$l_3 = \frac{\pi \cdot \rho_3 \cdot \gamma_3}{180} = \frac{\pi \cdot 9,18 \cdot 30}{180} = 4,8 \text{ mm}$$

Rozměry „a“, které nevyplývají z obr. 6.1, jsou odměřeny z výrobního výkresu součásti v programu AutoCAD.

$$L_2 = 2 \cdot (a_3 + l_2 + a_4 + l_3) + a_5 = 2 \cdot (18,5 + 5,65 + 11,55 + 4,8) + 35 = 116 \text{ mm}$$

Rozvinutý tvar součásti

Celkové rozměry rozvinutého tvaru součásti jsou uvedeny na obr. 6.3.



Obr. 6.3 Rozvinutý tvar součásti

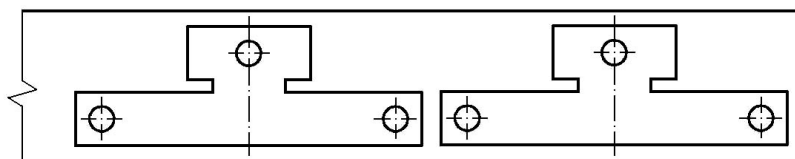
6.1 Poloha výstřižků v nástřihovém plánu

Vzhledem k rozměrům součásti v rozvinutém tvaru je možno uvažovat několik variant umístění výstřižků v nástřihovém plánu.

Varianta č.1

První variantou je umístění výstřižků podélně ve směru pohybu plechu v nástroji, viz obr. 6.4. Tato varianta umožňuje výrobu ve stříhadle z pásu plechu odvíjeného ze svitku, případně z pruhů nastříhaných z tabulí plechu.

Vzhledem k následujícím technologickým operacím ohýbání je tato varianta nevhodná z důvodu nutnosti konstrukce příliš rozměrného nástroje (jednotlivé kroky jsou příliš dlouhé).

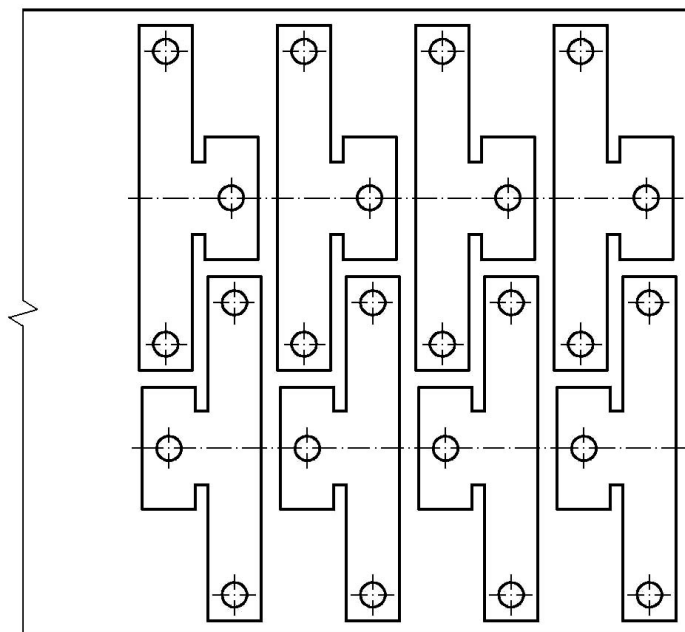


Obr. 6.4 Poloha výstřižků - varianta č.1

Varianta č.2

Druhou variantou je umístění výstřižků kolmo ke směru pohybu plechu ve dvou řadách, viz obr. 6.5, aby bylo dosaženo lepšího využití materiálu. Při této variantě je výrobu nutno realizovat z pruhů nastříhaných z tabulí plechu. Po vystřížení výstřižků v jedné řadě je potřeba pruh plechu otočit a stříh dále provádět v řadě druhé.

Oproti variantě č.1 je v tomto případě délka jednotlivých kroků kratší, což je výhodnější vzhledem k rozměrům nástroje. Nevýhodou této varianty je nutnost manipulace s materiálem při otáčení pruhů plechu. Vzhledem k vysokému počtu vyráběných součástí je z důvodu nutnosti uvedené manipulace s materiálem tato varianta nevhodná.

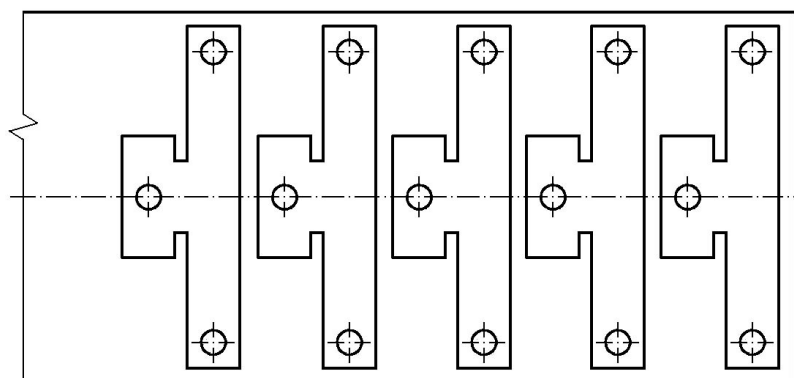


Obr. 6.5 Poloha výstřížků - varianta č.2

Varianta č.3

Třetí variantou je umístění výstřížků opět kolmo ke směru pohybu plechu, ale pouze v jedné řadě. Výrobu je při této variantě možno realizovat jak z pásu plechu odvíjeného ze svitku, tak z pruhů nastříhaných z tabulí plechu.

Pro výrobu dané součásti ve sdruženém postupovém nástroji v množství 150 000 ks je tato varianta nejvhodnější z důvodu krátkého kroku a možnosti výroby z pásu plechu odvíjeného ze svitku. Využití materiálu je u této varianty nižší než u varianty č.2, ale není zde potřeba další manipulace s materiálem při otáčení polotovaru.



Obr. 6.6 Poloha výstřížků - varianta č.3

Na základě zvážení výhod a nevýhod jednotlivých variant je pro umístění výstřížků v nástřihovém plánu zvolena varianta č.3.

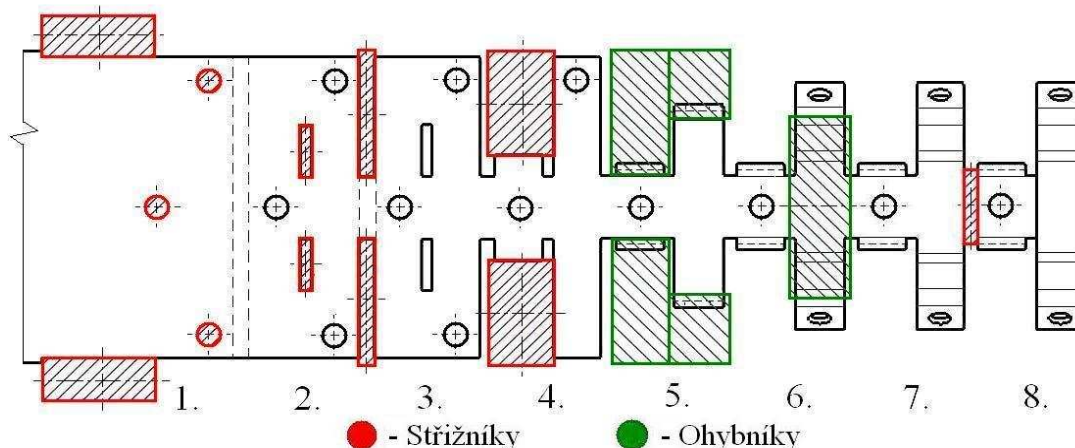
6.2 Volba výrobního postupu

Vzhledem k tvaru součásti připadají v úvahu různé varianty postupu výroby, z nichž dvě jsou uvedeny níže.

Varianta A

U této varianty je uvažována výroba součásti na 8 kroků se symetrickým uspořádáním střížníků i ohybníků, viz. obr. 6.7, kde v prvních 4 krocích je součást kompletně vystřižena (mimo přepážky spojující jednotlivé výstřižky). V krocích č.5 a č.6 je pak proveden ohyb. Dále je nutno užít volného kroku č.7 z důvodu získání prostoru pro odstřížení hotové součásti v kroku č.8. Přesná vzdálenost kroku je zajištěna odstřihováním okrajů plechu.

Nevýhodou této varianty je možnost deformací (kroucení) polotovaru během stříhu (zejména v kroku č.3 a č.4) z důvodu symetrického uspořádání střížníků.

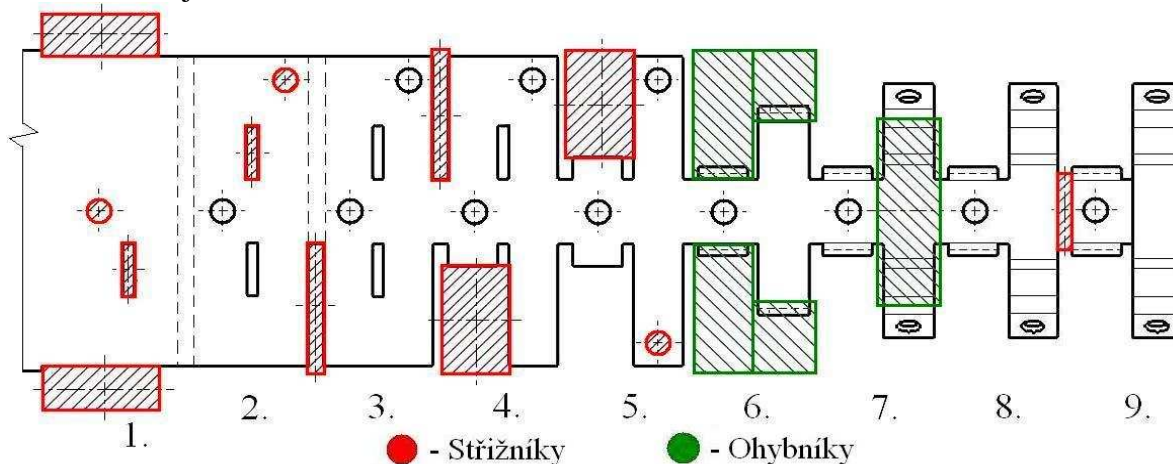


Obr. 6.7 Výrobní postup - varianta A

Varianta B

Tato varianta je podobná variantě A, s tím rozdílem, že uspořádání střížníků není symetrické (obr. 6.8) a je zde navíc jeden střížný krok. Výroba součásti je tedy u této varianty realizována na 9 kroků.

Nesymetrického uspořádání střížníků se v praxi využívá k omezení možnosti deformací polotovaru, ke které by mohlo dojít v případě varianty A se symetrickým uspořádáním střížníků. Výhodou uspořádání střížníků podle varianty B je navíc rovnoměrněji rozložené zatížení nástroje.



Obr. 6.8 Výrobní postup - varianta B

Z důvodu omezení možností deformací polotovaru a rovnoměrnějšího zatížení nástroje je zvolen výrobní postup dle varianty B.

6.3 Rozměry nástřihového plánu

Šířka přepážky mezi jednotlivými výstřižky

Dle tab. 3.6 je zvoleno: $b = 5,2 \text{ mm}$.

Šířka ostříhovaného okraje

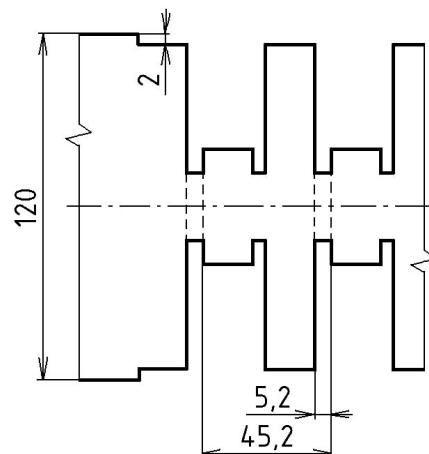
Dle tab. 3.7 je zvoleno: $c = 2 \text{ mm}$.

Šířka pásu nebo pruhu

$$B = h_v + 2 \cdot c = 116 + 2 \cdot 2 = 120 \text{ mm}$$

Krok

$$k = l_v + b = 40 + 5,2 = 45,2 \text{ mm}$$



Obr. 6.9 Rozměry nástřihového plánu

6.4 Volba polotovaru

Pro výrobu dané součásti je možno užít polotovaru buď ve formě pásu plechu odvíjeného ze svitku, nebo ve formě pruhů nastříhaných z tabulí plechu. Výroba z polotovaru ve formě svitku je podmíněna užitím přídavných zařízení pro manipulaci s materiálem, kterými je odvíjecí zařízení, rovnačka a podavač. Při návrhu výroby dané součásti je uvažováno, že výrobní pracoviště takovými zařízeními disponuje.

a) Využití materiálu při výrobě ze svitku

Volba rozměrů svitku [15]

šířka $B = 120 \text{ mm}$

vnitřní průměr $d_{sv} = 400 \text{ mm}$

vnější průměr $D_{sv} = 1200 \text{ mm}$

Hmotnost svitku

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{D_{sv}^2 - d_{sv}^2}{4} \cdot b \cdot \rho_{ocel} = \pi \cdot \frac{1200^2 - 400^2}{4} \cdot 120 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 947 \text{ kg}$$

Délka pásu ve svitku

$$L = \frac{m_{sv}}{B \cdot s \cdot \rho_{ocel}} = \frac{947}{120 \cdot 2,5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 402123 \text{ mm}$$

Počet výstřižků ze svitku

$$n_v = \frac{L}{k} = \frac{402123}{45,2} = 8897$$

Plocha výstřižku bez otvorů

$$S_c = 116 \cdot 18 + 41,4 \cdot 18 + 4 \cdot 24 = 2929,2 \text{ mm}^2$$

Využití materiálu

$$k_m = \frac{S_c \cdot n_v}{L \cdot B} \cdot 100 = \frac{2929,2 \cdot 8897}{402123 \cdot 120} \cdot 100 = 54 \%$$

b) Využití materiálu při výrobě z podélně stříhaných pruhů

Volba rozměrů tabule plechu [9]

Rozměry tabule plechu jsou zvoleny $s \times b \times l = 2,5 \times 1000 \times 2000$ mm.

Rozměry vystřižených pruhů

délka $L = 2000$ mm, šířka $B = 120$ mm

Počet pruhů na jednu tabuli plechu

$$n_{\text{POD}} = \frac{b}{B} = \frac{1000}{120} = 8$$

Počet výstřižků na jeden pruh plechu

$$n_v = \frac{L}{k} = \frac{2000}{45,2} = 44$$

Využití materiálu

$$k_m = \frac{S_c \cdot n_v \cdot n_{\text{POD}}}{l \cdot b} \cdot 100 = \frac{2929,2 \cdot 44 \cdot 8}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 51,6 \%$$

c) Využití materiálu při výrobě z příčně stříhaných pruhů

Rozměry vystřižených pruhů

délka $L = 1000$ mm, šířka $B = 120$ mm

Počet pruhů na jednu tabuli plechu

$$n_{\text{PŘ}} = \frac{l}{B} = \frac{2000}{120} = 16$$

Počet výstřižků na jeden pruh plechu

$$n_v = \frac{L}{k} = \frac{1000}{45,2} = 22$$

Využití materiálu

$$k_m = \frac{S_c \cdot n_v \cdot n_{\text{PŘ}}}{l \cdot b} \cdot 100 = \frac{2929,2 \cdot 22 \cdot 16}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 51,6 \%$$

d) Volba polotovaru

Pro výrobu součásti je zvolen polotovar ve formě svitků, protože jeho využití je o 2,4 % větší než v případě výroby z pruhů stříhaných z tabulí plechu v podélném i příčném směru. Za předpokladu, že výrobní pracoviště disponuje prostředky pro zpracování svitků, je polotovar v formě svitků výhodnější, protože tím odpadá nutnost manipulace s jednotlivými pruhly plechu.

e) Potřebný počet svitků

$$n_s = \frac{Q}{n_v} = \frac{150000}{8897} = 16,9 \Rightarrow \text{pro výrobu součásti je potřeba 17 svitků}$$

6.5 Výpočty střížné části nástroje

a) *Střížná síla* dle kap. 3.4

Mez pevnosti ve stříhu

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 370 = 296 \text{ MPa}$$

Boční posuvový střížník

$$F_{s1} = n \cdot l_1 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (45,2 + 2) \cdot 2,5 \cdot 296 = 45407 \text{ N}$$

Kruhový střížník

$$F_{s2} = n \cdot l_2 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (\pi \cdot 8,5) \cdot 2,5 \cdot 296 = 25689 \text{ N}$$

Obdélníkový střížník šířky 4 mm

$$F_{s3} = n \cdot l_3 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (2 \cdot 4 + 2 \cdot 20) \cdot 2,5 \cdot 296 = 46176 \text{ N}$$

Obdélníkový střížník šířky 5,2 mm

$$F_{s4} = n \cdot l_4 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (5,2 + 2 \cdot 46) \cdot 2,5 \cdot 296 = 93506 \text{ N}$$

Obdélníkový střížník šířky 24 mm

$$F_{s5} = n \cdot l_5 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (18 + 26) \cdot 2,5 \cdot 296 = 42328 \text{ N}$$

Dělicí střížník

$$F_{s6} = n \cdot l_6 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (2 \cdot 24) \cdot 2,5 \cdot 296 = 46176 \text{ N}$$

Celková střížná síla

$$\begin{aligned} F_s &= 2 \cdot F_{s1} + 3 \cdot F_{s2} + 2 \cdot F_{s3} + 2 \cdot F_{s4} + 2 \cdot 2F_{s5} + F_{s6} = \\ &= 2 \cdot 45407 + 3 \cdot 25689 + 2 \cdot 46176 + 2 \cdot 93506 + 2 \cdot 42328 + 46176 = 578077 \text{ N} \cong 578,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) *Síla na vysunutí odpadu* [1]

Při stříhání ve stříhadlech je z důvodu jejich konstrukce nutno vynaložit nejen střížnou sílu, ale také sílu potřebnou k vysunutí výstřížků ze střížnice. Koeficient vlivu materiálu a tloušťky stříhaného plechu je zvolen: $k_{ev} = 0,05$. Počet výstřížků v neodlehčené části střížnice $n = 2$.

$$F_{pr} = k_{ev} \cdot F_s \cdot n = 0,05 \cdot 578077 \cdot 2 = 57808 \text{ N} \cong 57,8 \text{ kN}$$

c) *Střížná práce* dle kap. 3.4

Dle tab. 3.1 je zvolen koeficient $k = 0,55$.

$$A = \frac{k \cdot F_s \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 578077 \cdot 2,5}{1000} = 794,9 \text{ J}$$

d) *Střížná vůle* dle kap. 3.3

Dle obr. 3.9 je zvolen koeficient $c = 0,01$.

$$v = 2 \cdot c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,01 \cdot 2,5 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{296} = 0,28 \text{ mm}$$

Střížná mezera

$$z = \frac{v}{2} = \frac{0,28}{2} = 0,14 \text{ mm}$$

e) Výpočet střížníků na otlacení [23]

Nejmenší dosedací plochu „S_d“ v upínací hlavici má kruhový střížník a stříh je s ním prováděn celým obvodem jeho střížné hrany. Výpočet na otlacení pro určení potřeby užití opěrné kalené desky mezi dosedacími plochami střížníků a upínací deskou je z tohoto důvodu proveden právě pro kruhový střížník.

Dovolené namáhání ocelové upínací desky: $\sigma_{\text{dov}} = 180 \text{ MPa}$.

$$\sigma = \frac{F_{s2}}{S_{d2}} = \frac{F_{s2}}{\frac{\pi \cdot d_{d2}^2}{4}} = \frac{25\,689}{\frac{\pi \cdot 11,5^2}{4}} = 247,3 \text{ MPa} < \sigma_{\text{dov}} \Rightarrow \text{je nutno užít opěrnou kalenou desku}$$

f) Výpočet střížníků na vzpěr [23]

Maximální délka všech střížníků je stanovena jako kritická vzpěrná délka střížníku o nejmenším průřezu, tzn. střížníku kruhového. Výpočet je proveden dle vztahu pro střížník vedený ve vodící desce.

Moment setrvačnosti plného kruhového průřezu

$$I = \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} = \frac{\pi \cdot 8,5^4}{64} = 256,24 \text{ mm}^4$$

Kritická délka střížníku

Koeficient bezpečnosti je zvolen: $n = 1,75$.

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot l_2 \cdot s \cdot \tau_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 256,24}{1,75 \cdot (\pi \cdot 8,5) \cdot 2,5 \cdot 296}} = 247,8 \text{ mm}$$

g) Minimální tloušťka střížnice [23]

Minimální tloušťka střížnice je stanovena dle vztahu pro obdélníkovou oboustranně podepřenou střížnici, která je uvažována jako rovinná deska namáhaná ohybem.

Největší dovolené napětí v ohybu je zvoleno: $\sigma_o = 500 \text{ MPa}$.

$$H = \sqrt{\frac{2,5 \cdot F_s}{\sigma_o}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 578077}{500}} = 53,8 \text{ mm}$$

6.6 Výpočty ohýbací části nástroje

a) Ohýbací síla dle kap. 4.6

Ohyb do tvaru „U“

$$F_{\text{ou}} = \frac{R_m \cdot b \cdot s}{2} = \frac{370 \cdot 18 \cdot 2,5}{2} = 8325 \text{ N}$$

Ohyb do tvaru „V“

$$F_{\text{ov}} = \frac{2 \cdot R_m \cdot b \cdot s^2}{1} = \frac{2 \cdot 370 \cdot 18 \cdot 2,5^2}{24} = 3469 \text{ N}$$

Celková ohýbací síla

$$F_o = 2 \cdot F_{\text{ou}} + 2 \cdot F_{\text{ov}} = 2 \cdot 8325 + 2 \cdot 3469 = 23588 \text{ N} \cong 23,6 \text{ kN}$$

b) Ohýbací práce dle kap. 4.6

První ohyb do tvaru „U“ - ohyb kratší části

$$A_{ou1} = \frac{m \cdot (F_{ou} + F_p) \cdot h_1}{1000} = \frac{m \cdot (F_{ou} + 0,25 \cdot F_{ou}) \cdot h_1}{1000} = \frac{\frac{2}{3} \cdot (8325 + 0,25 \cdot 8325) \cdot 8,5}{1000} = 58,97 \text{ J}$$

Druhý ohyb do tvaru „U“

$$A_{ou2} = \frac{m \cdot (F_{ou} + F_p) \cdot h_2}{1000} = \frac{m \cdot (F_{ou} + 0,25 \cdot F_{ou}) \cdot h_2}{1000} = \frac{\frac{2}{3} \cdot (8325 + 0,25 \cdot 8325) \cdot 23,5}{1000} = 163,03 \text{ J}$$

Ohyb do tvaru „V“

$$A_{ov} = \frac{m \cdot F_{ov} \cdot h}{1000} = \frac{\frac{1}{3} \cdot 3469 \cdot 12}{1000} = 13,88 \text{ J}$$

Celková ohýbací práce

$$A_o = A_{ou1} + A_{ou2} + 2 \cdot A_{ov} = 58,97 + 163,03 + 2 \cdot 13,88 = 249,8 \text{ J}$$

c) Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí dle kap. 4.5

Součinitel vlivu tření ohýbaného plechu o ohybnici je dle tab. 4.3 pro všechny ohyby shodný: $c = 0,08$.

$$v = (s \text{ až } s_{\max}) + c \cdot s = 2,5 + 0,08 \cdot 2,5 = 2,7 \text{ mm}$$

d) Velikost odpružení dle kap. 4.2

První ohyb do tvaru „U“ - ohyb kratší části

Dle tab. 4.1 je zvolen součinitel posunutí neutrální plochy $x = 0,404 \Rightarrow$ součinitel polohy neutrální plochy $k = 1 - x = 1 - 0,404 = 0,596$.

$$l_{u1} = l_{o1} + l_{p1} + 1,2 \cdot s = 2 + 2 + 1,2 \cdot 2,5 = 7 \text{ mm}$$

$$\operatorname{tg} \beta_{u1} = 0,75 \cdot \frac{l_{u1}}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{7}{0,596 \cdot 2,5} \cdot \frac{260}{2,1 \cdot 10^5} = 4,362 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \beta_{u1} = 0,25^\circ = 0^\circ 15'$$

Druhý ohyb do tvaru „U“

Dle tab. 4.1 je zvolen součinitel posunutí neutrální plochy $x = 0,42 \Rightarrow$ součinitel polohy neutrální plochy $k = 1 - x = 1 - 0,42 = 0,58$.

$$l_{u2} = l_{o2} + l_{p2} + 1,2 \cdot s = 2,5 + 2,5 + 1,2 \cdot 2,5 = 8 \text{ mm}$$

$$\operatorname{tg} \beta_{u2} = 0,75 \cdot \frac{l_{u2}}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{8}{0,58 \cdot 2,5} \cdot \frac{260}{2,1 \cdot 10^5} = 5,123 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \beta_{u2} = 0,29^\circ = 0^\circ 17'$$

Ohyb do tvaru „V“

Dle tab. 4.1 je zvolen součinitel posunutí neutrální plochy $x = 0,471 \Rightarrow$ součinitel polohy neutrální plochy $k = 1 - x = 1 - 0,471 = 0,529$.

$$\operatorname{tg} \beta_v = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,375 \cdot \frac{24}{0,529 \cdot 2,5} \cdot \frac{260}{2,1 \cdot 10^5} = 8,426 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \beta_v = 0,48^\circ = 0^\circ 29'$$

e) Minimální a maximální poloměr ohybu dle kap. 4.4

Dle tab. 4.2 je zvolen koeficient $c = 0,55$.

$$R_{\min} = c \cdot s = 0,55 \cdot 2,5 = 1,4 \text{ mm}$$

Nejmenší poloměr ohybu na vyráběné součásti je 2 mm. Je tedy větší než minimální možný poloměr ohybu. Z tohoto hlediska velikosti poloměrů všech ohybů na součásti vyhovují.

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{2,5}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{260} - 1 \right) = 1008 \text{ mm}$$

6.7 Umístění stopky

Pro připevnění upínací hlavice nástroje k beranu lisu je použito upínací stopky, viz obr. 3.15, která je umístěna v těžišti působících střížných a ohýbacích sil.

a) Poloha stopky v ose „x“ dle kap. 3.4.1

V ose „x“ (směr pohybu pásu plechu v nástroji) je poloha osy stopky stanovena jako vzdálenost „X“ od střížné hrany prvního střížníku (obr. 6.10).

$$\begin{aligned} \sum F \cdot x &= (2 \cdot F_{S1} + F_{S2}) \cdot a + F_{S3} \cdot b + F_{S3} \cdot c + F_{S2} \cdot d + F_{S4} \cdot e + F_{S4} \cdot f + F_{S5} \cdot g + F_{S5} \cdot h + \\ &+ F_{S2} \cdot i + F_{ou} \cdot j + F_{ou} \cdot k + 2 \cdot F_{ov} \cdot l + F_{S6} \cdot m = (2 \cdot 45\,407 + 25\,689) \cdot 20 + \\ &+ 46\,176 \cdot 31 + 46\,176 \cdot 76,2 + 25\,689 \cdot 87,2 + 93\,506 \cdot 98,8 + 93\,506 \cdot 144 + \\ &+ 42\,328 \cdot 163,3 + 42\,328 \cdot 208,5 + 25\,689 \cdot 222,8 + 8\,325 \cdot 246 + 8\,325 \cdot 268 + \\ &+ 2 \cdot 3\,469 \cdot 313,2 + 46\,176 \cdot 370 = 77\,221\,676 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

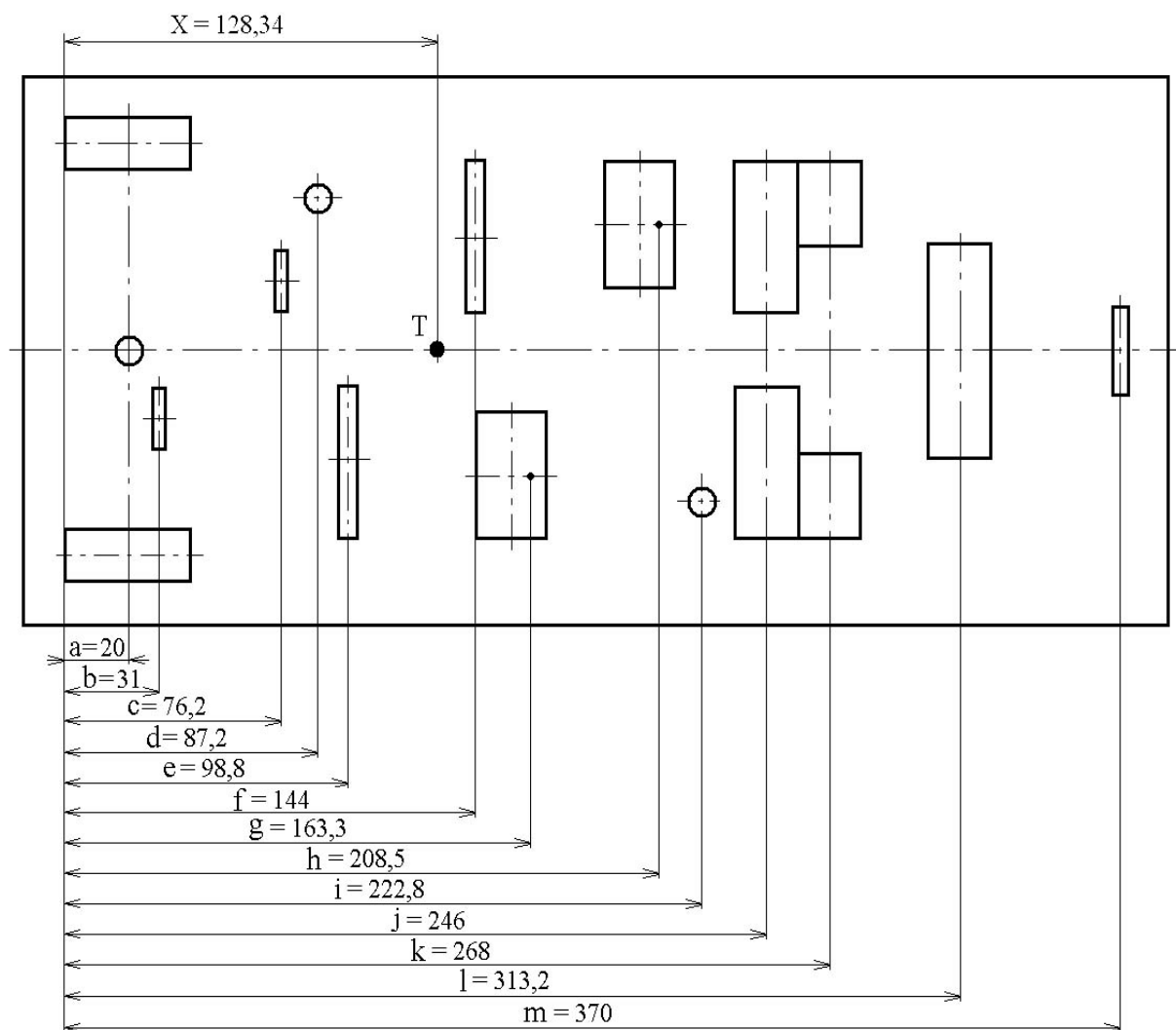
Polohy těžišť střížníků „g“ a „h“, které stříhají jen částmi svých střížných hran, jsou určeny obdobným způsobem jako poloha těžiště všech působících sil.

$$\begin{aligned} \sum F &= 2 \cdot F_{S1} + 3 \cdot F_{S2} + 2 \cdot F_{S3} + 2 \cdot F_{S4} + 2 \cdot F_{S5} + F_{S6} + 2 \cdot F_{ou} + 2 \cdot F_{ov} = \\ &= 2 \cdot 45\,407 + 3 \cdot 25\,689 + 2 \cdot 46\,176 + 2 \cdot 93\,506 + 2 \cdot 42\,328 + 46\,176 + 2 \cdot 8\,325 + \\ &+ 2 \cdot 3\,469 = 601\,665 \text{ N} \end{aligned}$$

$$X = \frac{\sum F \cdot x}{\sum F} = \frac{77\,221\,676}{601\,665} = 128,34 \text{ mm}$$

b) Poloha stopky v ose „y“

Z důvodu použití stejného počtu shodných střižníků i ohybníků ve stejných vzdálenostech na obě strany od osy „x“, se těžiště působících sil nachází přesně na této ose. Ve směru osy „y“ je proto stopka umístěna přesně v ose nástroje a její polohu není nutno dále početně stanovovat.



Obr. 6.10 Poloha těžiště střižných a ohýbacích sil

6.8 Volba stroje

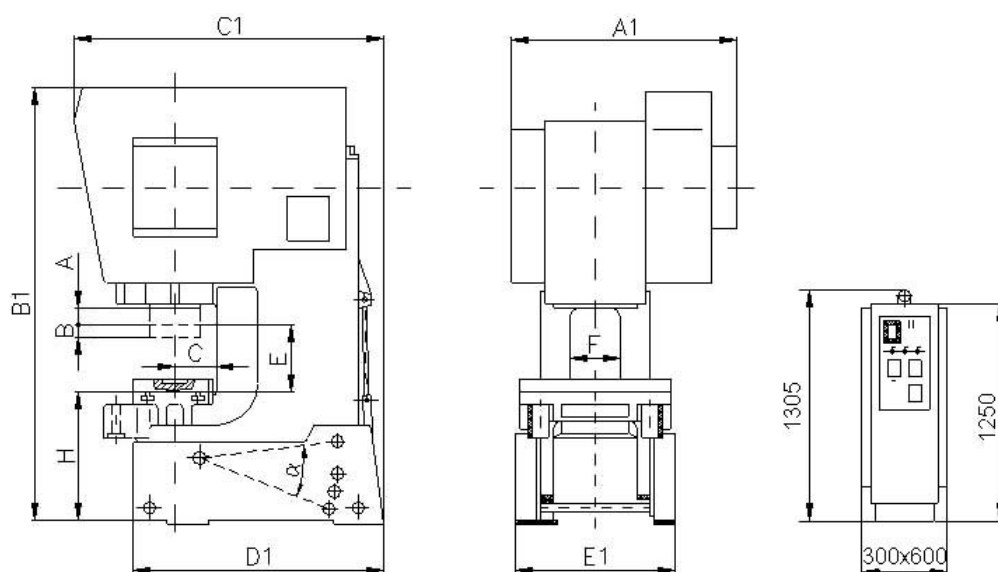
Celková tvářecí síla

$$F_C = F_S + F_{pr} + F_o = 578077 + 57808 + 23588 = 659473 \text{ N} \approx 659,5 \text{ kN}$$

Zvolený stroj [32]

Pro výrobu součástí je zvolen výstředníkový lis LEXN 100 C od firmy TOMA INDUSTRIES s.r.o. Trnava. Volba byla provedena na základě velikosti jmenovité síly lisu a jeho rozměrových parametrů. Hlavní rozměrové kóty lisu jsou uvedeny na obr. 6.11 a jeho základní technické parametry v tab. 6.1.

Jmenovitá síla zvoleného lisu je 1000 kN. Je tedy vyšší než celková tvářecí síla potřebná pro výrobu součástí. Z hlediska jmenovité síly proto lis vyhovuje.



Obr. 6.11 Hlavní rozměry lisu [32]

Tab. 6.1 Základní technické parametry lisu [32]

Jmenovitá síla	1000	[kN]
Využitelný počet zdvihů	45	[min ⁻¹]
Maximální tloušťka plechu	4	[mm]
Stavitelnost zdvihu A	10 až 125	[mm]
Stavitelnost beranu B	90	[mm]
Vyložení C	355	[mm]
Sevření E	380	[mm]
Průchod F	380	[mm]
Rozměr H	930	[mm]
Rozměr A1	1680	[mm]
Rozměr B1	2970	[mm]
Rozměr C1	2220	[mm]
Rozměr D1	1800	[mm]
Rozměr E1	1050	[mm]
Sklopení stojanu - α	0; 9; 17; 25	[°]
Hmotnost lisu	10 600	[kg]
Příkon elektromotoru	11	[kW]

6.9 Popis nástroje

Sdružený postupový nástroj je navržen tak, že součást je v něm kompletně vyrobena stříháním a ohýbáním pásu plechu na 9 kroků. 3D model nástroje ve složeném stavu je z důvodu lepší přehlednosti uveden ve větším měřítku v příloze 1.

Konstrukce nástroje je řešena formou vodicího stojánku, kde ve spodní základové desce jsou zalisovány vodicí sloupky a horní upínací deska je pak vedena po těchto sloupcích pomocí zalisovaných pouzder. Pro zamezení možnosti pootočení horní části nástroje při montáži má jeden z vodicích sloupků větší průměr.

Horní část nástroje, jejíž 3D model je uveden v příloze 2, je složena ze střížníků a ohybníků, které jsou na svých horních částech osazené a za toto osazení jsou pomocí kotevní desky upnuty k upínací desce. Z důvodu většího namáhání upínací desky na otlacení je mezi kotevní a upínací deskou vložena opěrná kalená deska. Kotevní deska je spojena s upínací deskou pomocí šroubů a přesná vzájemná poloha desek je zajištěna kolíky. Na upínací desce je dále připevněna stopka pro upnutí horní části nástroje v beranu lisu. Stopka se na upínací desce nachází v místě těžiště působících střížných a ohýbacích sil (není uprostřed upínací desky), aby během tvářecího procesu nedocházelo ke vzniku klopného momentu, který by značně zatěžoval nástroj i beran lisu.

Ve spodní části nástroje, jejíž 3D model je uveden v příloze 3, je na základové desce připevněna střížnice, která je konstruována jako celistvá. Za střížnicí je pak umístěno několik ohybnic. Na výstupní části nástroje se nachází další střížnice, která je určena pro odstřížení hotové součásti, protože součást je během celého procesu její výroby spojena s pásem plechu, ze kterého je vyráběna. Ke spodní části nástroje je dále připevněna vodicí deska, která slouží k vedení střížníků a ohybníků. Na horní straně této vodicí desky je zalisováno několik válcových dosedacích elementů, na které dosedá horní část nástroje při jeho plném sevření. Upravením délky dosedacích elementů je možno při montáži přesně nastavit velikost sevření nástroje.

Pás plechu je ve spodní části nástroje veden pomocí vodicích lišt. Šířka pásu, vstupujícího do nástroje, je větší než vzdálenost mezi vodicími lištami, aby okraj pásu mohl být na vstupní části nástroje ostříhován bočními posuvovými střížníky. Díky tomu je do nástroje možno vsunout plech vždy jen na vzdálenost odpovídající délce ostříženého okraje, čímž je zajištěn požadovaný krok pásu. Přesné polohy pásu ve směru jeho pohybu je pak dosaženo užitím hledáčku.

Hotová součást je po odstřížení dělicím střížníkem usměrněna pomocí skluzu do připravené palety. Vystřížený odpad propadává otvory v základové desce a pomocí druhého skluzu je rovněž usměrněn do další palety.

7 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Ekonomické hodnocení je založeno na stanovení nákladů souvisejících s výrobou součástí a následném určení od jakého množství výrobků již bude výroba zisková (stanovení tzv. bodu zvratu). Součást bude vyráběna v sérii $Q = 150\,000$ ks za rok.

a) Náklady na materiál

Dle kap. 6.4 je potřebný počet svitků $n_s = 17$ a hmotnost jednoho svitku $m_{sv} = 947$ kg.

Celková hmotnost svitků

$$m_{sc} = m_{sv} \cdot n_s = 947 \cdot 17 = 16099 \text{ kg}$$

Náklady na pořízení svitků [9]

Cena materiálu je dle ceníku firmy Feron a.s.: $C_m = 31,5$ Kč/kg.

$$N_m = m_{sc} \cdot C_m = 16099 \cdot 31,5 = 507119 \text{ Kč}$$

Hmotnost jedné součásti

$$m = S \cdot s \cdot \rho_{ocel} = (116 \cdot 18 + 41,4 \cdot 18 + 4 \cdot 24 - 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8,5^2}{4}) \cdot 2,5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,054 \text{ kg}$$

Celková hmotnost součástí

$$m_c = m \cdot Q = 0,054 \cdot 150\,000 = 8100 \text{ kg}$$

Celková hmotnost odpadu

$$m_{oc} = m_{sc} - m_c = 16099 - 8100 = 7999 \text{ kg}$$

Zhodnocení odpadu

Cena zhodnoceného odpadového materiálu $C_o = 3$ Kč/kg.

$$Z_o = m_{oc} \cdot C_o = 7999 \cdot 3 = 23997 \text{ Kč}$$

Náklady na potřebný materiál - po odečtení zhodnocení odpadu

$$N_{mc} = N_m - Z_o = 507119 - 23997 = 483112 \text{ Kč}$$

b) Náklady na mzdy

Přípravný čas $t_p = 0,5$ hod. na směnu, výrobní čas $t_v = 6,5$ hod. na směnu a kontrolní čas. $t_k = 0,5$ hod. na směnu.

Počet vyrobených součástí za hodinu

Počet zdvihů lisu je zvolen $n_z = 30 \text{ min}^{-1}$.

$$n_{sh} = n_z \cdot 60 = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ ks/hod.}$$

Počet vyrobených součástí za směnu

$$n_{ss} = n_{sh} \cdot t_v = 1800 \cdot 6,5 = 11700 \text{ ks/směnu}$$

Počet směn

$$n_{sm} = \frac{Q}{n_{ss}} = \frac{150\,000}{11700} = 12,8 \Rightarrow \text{pro výrobu součástí je potřeba 13 směn}$$

Počet hodin potřebných na výrobu

$$n_h = n_{sm} \cdot (t_p + t_v + t_k) = 13 \cdot (0,5 + 6,5 + 0,5) = 97,5 \text{ hod.}$$

Celkové náklady na mzdy

$$N_{mz} = n_h \cdot 120 = 97,5 \cdot 120 = 11700 \text{ Kč}$$

Přímé mzdy

Sociální a zdravotní pojištění je 34 % z $N_{mz} \Rightarrow SZ = 1,34$

$$P_m = N_{mz} \cdot SZ = 11700 \cdot 1,34 = 15678 \text{ Kč}$$

c) Náklady na spotřebovanou energii

Příkon lisu $P_L = 11 \text{ kW}$.

Příkon všech přídavných zařízení (rovnačka apod.) $P_P = 5 \text{ kW}$.

Celkový příkon strojů

$$P_C = P_L + P_P = 11 + 5 = 16 \text{ kW}$$

Cena elektrické energie $C_e = 4 \text{ Kč/kWh}$.

Náklady na spotřebovanou elektrickou energii

$$N_e = P_C \cdot n_h \cdot C_e = 16 \cdot 97,5 \cdot 4 = 6240 \text{ Kč}$$

d) Náklady na nástroj

Náklady na nástroj jsou voleny dle nákladů na výrobu obdobných nástrojů: $N_n = 300\,000 \text{ Kč}$.

e) Celkové náklady na mzdy a režii

Výrobní režie je 390 % z $P_m \Rightarrow VR = 3,9$

Správní režie je 120 % z $P_m \Rightarrow SR = 1,2$

$$N_{mr} = P_m \cdot (VR + SR) = 15678 \cdot (3,9 + 1,2) = 79958 \text{ Kč}$$

f) Cena součástí

Náklady na materiál jedné součásti

$$N_{ml} = \frac{N_{mc}}{Q} = \frac{483112}{150000} = 3,22 \text{ Kč/ks}$$

Náklady na výrobu jedné součásti

$$N_{vl} = \frac{N_{mr} + N_n}{Q} + N_{ml} = \frac{79958 + 300000}{150000} + 3,22 = 5,76 \text{ Kč/ks}$$

Celková cena součástí - s uvažováním zisku

Je uvažován zisk 30 % $\Rightarrow Z = 1,3$

$$C_C = N_{vl} \cdot Z = 5,76 \cdot 1,3 = 7,49 \text{ Kč/ks}$$

g) Určení bodu zvratu

Fixní náklady

$$FN = N_{mr} + N_n - P_m = 79958 + 300000 - 15678 = 364280 \text{ Kč}$$

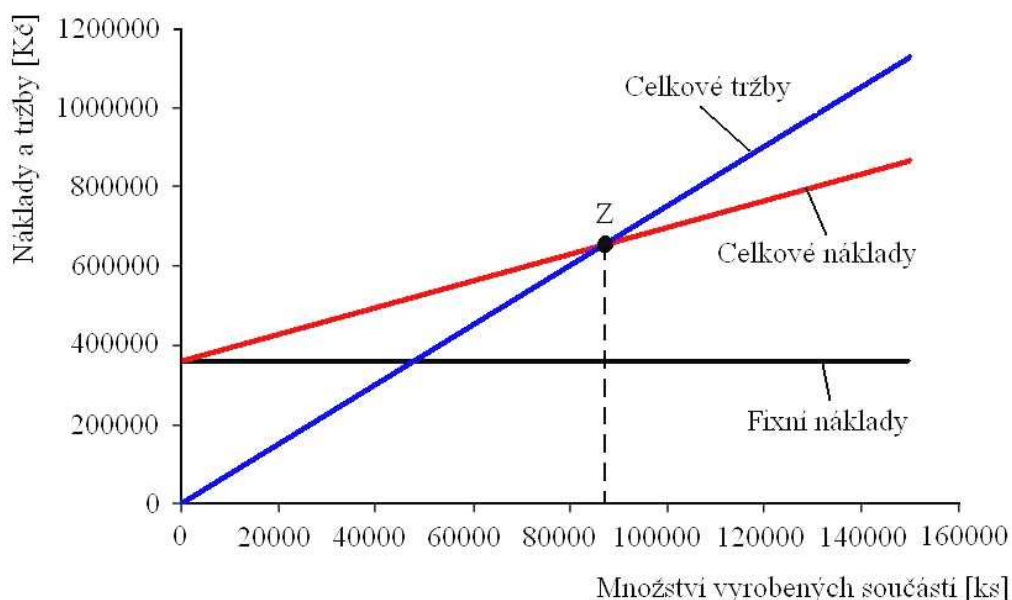
Variabilní náklady

$$VN = N_{mi} + \frac{P_m}{Q} = 3,22 + \frac{15678}{150000} = 3,32 \text{ Kč/ks}$$

Bod zvratu

$$Z = \frac{FN}{C_c - VN} = \frac{364280}{7,49 - 3,32} = 87358 \text{ ks}$$

Při vyrobení 87 358 ks součástí nastává bod zvratu a výroba dalších součástí je poté již zisková. Vzhledem k celkovému počtu vyráběných součástí 150 000 ks je tedy zřejmé, že výroba pomocí navržené technologie bude z ekonomického hlediska efektivní. Poloha bodu zvratu „Z“ je pro názornost graficky určena na obr. 7.



Obr. 7 Grafické určení bodu zvratu „Z“

8 ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce byl návrh technologie výroby držáku klaksonu u motocyklu. Jedná se o součást prostorového nepravidelného tvaru s otvory, která je vyráběna z ocelového hlubokotažného plechu 11 320.30 tloušťky 2,5 mm v sérii 150 000 ks za rok. Délka součásti je přibližně 95 mm, šířka 40 mm a na součást nejsou kladeny žádné zvýšené nároky na geometrickou přesnost ani jakost povrchu. Výroba je realizována kombinací technologií stříhání a ohýbání.

Na základě provedeného rozboru možných variant výroby součástí obdobných tvarů je zvolena technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji. Pro tento nástroj jsou navrženy a spočítány technologické parametry a zvolen vhodný stroj, kterým je výstředníkový lis LEXN 100 C od firmy TOMA INDUSTRIES s.r.o. Trnava. Nástroj je řešen formou vodicího stojánku s pevnou vodicí deskou. Tato deska je určena pro vedení střížníků a ohybníků, které jsou upevněny k horní části nástroje. Ve spodní části nástroje se mezi vodicími lištami posouvá polotovar ve formě pásu plechu. Posun polotovaru je prováděn po každém zdvihu lisu o vzdálenost jednoho kroku, která je dána ostříhováním okrajů pásu po určité délce bočními posuvovými střížníky. Přesná hodnota kroku je pak zajištěna užitím hledáčku. Součást je v nástroji vyrobena na 9 kroků a během celého výrobního procesu je spojena se zbytkem pásu plechu, od něhož je nakonec v posledním kroku odstřižena a následně usměrněna pomocí skluzu do připravené palety. Odpad, který propadává otvory v základové desce spodní části nástroje, je rovněž usměrněn skluzem do další palety. Výkres sestavení nástroje a 3D modely jsou uvedeny v příloze.

V ekonomickém hodnocení jsou stanoveny náklady na výrobu součásti a v závislosti na uvažovaném zisku 30 % je určen bod zvratu, který nastává při vyrobení 87 358 ks součástí. Od tohoto počtu součástí je výroba již zisková, z čehož při výrobě v celkovém počtu 150 000 ks součástí vyplývá, že navržená technologie jejich výroby je z ekonomického hlediska vhodná.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971. 544 s. L13-E1-IV-41/22221/X.
- [2] BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1983. 216 s. L13-B2-IV-31/22703.
- [3] ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřetě : směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1975. 28 s. MDT 621.979.07.
- [4] ČSN 41 1320. *Ocel 11 320*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1986. 12 s. MDT 669.14.018.262.
- [5] *D-M-E : katalog součástí tvářecích nástrojů*. [s.l.] : [s.n.], 2010. 452 s.
- [6] DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Kapesní strojnická příručka*. Vyd. 2. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1967. 524 s. L13-E1-III-41/22054/XII.
- [7] DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František; NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření : Plošné a objemové tváření*. Vyd. 4. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [8] DVOŘÁK, Milan; MAREČKOVÁ, Michaela. *Technologie tváření* [online]. Brno : VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006 [cit. 2010-03-05]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm>.
- [9] *Ferona, a.s. : velkoobchod hutním materiálem* [online]. 2010 [cit. 2010-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/index.php>>.
- [10] *Fibro* [online]. 2006 [cit. 2010-05-22]. Dostupné z WWW: <www.fibro.de>.
- [11] FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [12] GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů* [online]. Brno : VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf>.
- [13] HRUBÝ, Jiří. *Konstrukce tvářecích nástrojů* [online]. Ostrava : [s.n.], [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.345.vsb.cz/jirihruby/KTN/index.htm>>.
- [14] *Kalina industries s.r.o. : výroba těsnění a průmyslových dílců* [online]. [cit. 2010-05-13]. Produkty. Dostupné z WWW: <<http://www.kalina.cz/tesneni-a-tesnici-materialy/produkty>>.
- [15] *Katalog pásové oceli válcované za studena* [online]. Nová Huť : [s.n.], [cit. 2010-05-22]. Dostupné z WWW: <http://www.valcovna-nh.cz/download/cz/katalog_cz.pdf>.

- [16] KOVÁČ, Andrej; JENKUT, Milan. *Tvárníacie stroje*. Vyd. 1. Bratislava : ALFA, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, n. p., 1978. 816 s. MDT 621.7.06 (075.8).
- [17] LEINVEBER, Jan; ŘASA, Jaroslav; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Vyd. 3. Praha : Scientia, spol. s r.o., 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [18] LENFELD, Petr. *Technologie II : Tváření kovů, zpracování plastů* [online]. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005 [cit. 2010-03-03]. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp>.
- [19] MARCINIAK, Zdzislaw. *Teorie tváření plechů*. Vyd. 1. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1964. 260 s. L13-B3-IV-41/2944-VIII.
- [20] *Novapol s.r.o. : Strojírna a nástrojárna* [online]. 2005 [cit. 2010-05-19]. Fotogalerie. Dostupné z WWW: <<http://www.novapol.cz/?akce=fotogalerie>>.
- [21] NOVOTNÝ, Josef; LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1980. 216 s. L 13-B 3-IV-41/22674.
- [22] NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie výroby : část tváření* [online]. Brno : VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002 [cit. 2010-03-12]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/specialni_technologie_vyroby__novotny_piska.pdf>.
- [23] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Vyd. 1. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [24] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje : část I - tváření*. Vyd. 2. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1987. 112 s. 55-593/1-87.
- [25] *Pásová ocel* [online]. [cit. 2010-05-13]. Klasická ocel válcovaná za studena. Dostupné z WWW: <<http://www.pasovaocel.cz/homecz.html>>.
- [26] PETRUŽELKA, Jiří; BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření II : plošné tváření* [online]. Ostrava : [s.n.], 2001 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf>.
- [27] *PK Tender a.s.* [online]. 2005 [cit. 2010-05-19]. Současná výroba. Dostupné z WWW: <<http://www.pktender.cz/index.php?menu=vyroba>>.
- [28] ROMANOVSKIJ, V. *Příručka pro lisování za studena*. Vyd. 1. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1959. 540 s. L13-E14-III/2395.
- [29] *Strojárska technológia : náuka o procesoch tvárnenie, obrábene aj.* [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. Operácie strihania. Dostupné z WWW: <<http://www.strojarskatechnologia.info/14-operacie-strihania-rozdelenie-a-princip/#more-173>>.

- [30] STUDNIČKA, Jaroslav. *Postupové lisovací nástroje*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1967. 120 s. 04-209-67.
- [31] ŠPAČEK, Jindřich; ŽÁK, Ladislav. *Speciální technologie I a II : plošné tváření*. Vyd. 1. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 109 s. ISBN 80-214-0259-8.
- [32] TOMA INDUSTRIES s.r.o. : *Výroba tvárniacej techniky* [online]. 2006 [cit. 2010-05-24]. Výstředníkový lis LEXN 100 C. Dostupné z WWW: <http://www.toma.sk/vyrprog_produkty_vyslisy_lexn.htm>.
- [33] VANČURA, Martin. *Konstrukteři.eu* [online]. 2008 [cit. 2010-05-13]. Oceli ČSN 11 xxx. Dostupné z WWW: <<http://www.konstrukteri.eu/?q=node/116>>.
- [34] ZUBCOV, M. *Lisování*. Vyd. 1. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1955. 476 s. VA-11895/55/SV3-D-00991.
- [35] ŽÁČEK, Jiří. *Ing. Jiří Žáček* [online]. [cit. 2010-05-19]. Transformátorové plechy, stahovací úhelníky a kostry cívek. Dostupné z WWW: <<http://www.jzacek.cz>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Popis	Jednotka
A	střížná práce	[J]
a	šířka přepážky mezi výstřížkem a okrajem pásu plechu	[mm]
A ₈₀	tažnost	[%]
B	šířka pásu nebo pruhu	[mm]
b	šířka přepážky mezi výstřížky (můstek)	[mm]
c	šířka ostříhovaného okraje	[mm]
C	cena materiálu	[Kč]
C _o	cena zhodnoceného odpadu	[Kč]
D	jmenovitý rozměr výstřížku	[mm]
d	jmenovitý rozměr děrovaného otvoru	[mm]
d _{kd}	jmenovitý rozměr střížníku při děrování	[mm]
d _{kv}	jmenovitý rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
D _{sd}	jmenovitý rozměr střížnice při děrování	[mm]
D _{sv}	jmenovitý rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	síla	[N]
F _c	celková tvářecí síla	[N]
F _j	jmenovitá síla lisu	[N]
F _n	normálová síla	[N]
FN	fixní náklady	[Kč]
F _p	přidržovací síla	[N]
F _{pr}	síla na vysunutí odpadu	[N]
F _s	střížná síla	[N]
F _t	třecí síla	[N]
h	pracovní zdvih	[mm]
H	tloušťka střížnice	[mm]
I	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]
k	krok	[mm]
K	poměr odpružení	[-]
k _m	součinitel využití materiálu	[%]
l	délka	[mm]
L	délka pásu nebo pruhu včetně koncových odpadů	[mm]
l _{krit}	kritická vzpěrná délka	[mm]
L _o	délka ramene	[mm]
l _o	rozměr ohybnice	[mm]
l _v	délka výstřížku	[mm]
m _c	celková hmotnost součástí	[kg]
m _{oc}	celková hmotnost odpadu	[kg]
m _{sc}	celková hmotnost svitků	[kg]
m _{sv}	hmotnost svitku	[kg]
n	koeficient vlivu vnějších podmínek při stříhání	[-]
N _e	náklady na elektrickou energii	[Kč]
n _h	počet hodin potřebných na výrobu	[-]
N _m	náklady na materiál	[Kč]
N _{mc}	náklady na materiál se zhodnocením odpadu	[Kč]
N _{mz}	celkové náklady na mzdy	[Kč]

N_n	náklady na nástroj	[Kč]
n_s	počet svitek	[-]
n_{sh}	počet vyrobených součástí za hodinu	[-]
n_{sm}	počet směn	[-]
n_{ss}	počet vyrobených součástí za směnu	[-]
n_v	počet výstřížků vyrobených z pásu nebo pruhu	[-]
N_v	náklady na výrobu	[Kč]
P_k	výrobní tolerance střížníku	[mm]
P_L	příkon lisu	[kW]
P_m	přímé mzdy	[Kč]
P_{ok}	přídavek na opotřebení střížníku	[mm]
P_{os}	přídavek na opotřebení střížnice	[mm]
P_p	příkon přídavných zařízení	[kW]
P_s	výrobní tolerance střížnice	[mm]
P_u	dovolená úchylka výstřížku	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
r_m	poloměr zaoblení funkčních hran ohybnice	[mm]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr ohybu	[mm]
r_p	poloměr zaoblení ohýbací hrany ohybníku	[mm]
s	tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
S	obsah plochy	[mm ²]
S_c	plocha výstřížku bez otvorů	[mm ²]
v	vůle	[mm]
VN	variabilní náklady	[Kč]
x	posunutí neutrální plochy	[mm]
z	střížná mezera	[mm]
Z	bod zvratu	[-]
Z_o	zhodnocení odpadu	[Kč]
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
ε	poměrná deformace	[-]
ρ	poloměr neutrální plochy	[mm]
σ	normálové napětí	[MPa]
τ	smykové napětí	[MPa]
τ_s	mez pevnosti ve střihu	[MPa]
φ	úhel před dolní úvratí	[°]

SEZNAM VÝKRESŮ

4 - DP - 10/01 Výrobní výkres držáku klaksonu

0 - DP - 10/00 Výkres sestavení nástroje

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 3D model sdruženého postupového nástroje

Příloha 2 3D model horní části nástroje

Příloha 3 3D model spodní části nástroje